



TUGAS AKHIR - TE 141599

**MPPT PADA SISTEM PV MENGGUNAKAN ALGORITMA
FIREFLY DAN *MODIFIED P&O* DENGAN KONVERTER
HYBRID CUK TERKONEKSI KE GRID SATU PHASA
DIBAWAH KONDISI *PARTIAL SHADED***

Dhuhari Chalis Bani
NRP 2212100158

Dosen Pembimbing
Dr. Ir. Margo Pujiانتara, MT.
Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.

JURUSAN TEKNIK ELEKTRO
Fakultas Teknologi Industri
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016



FINAL PROJECT - TE 141599

**MPPT OF PV SYSTEM USING FIREFLY AND MODIFIED
P&O WITH HYBRID CUK CONVERTER CONNECTED TO
SINGLE PHASE GRID UNDER PARTIAL SHADED
CONDITION**

Dhuhari Chalis Bani
NRP 2212100158

Advisor
Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Heri Suryoatmojo, ST, MT, Ph.D.

ELECTRICAL ENGINEERING DEPARTMENT
Faculty of Industrial Technology
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya 2016

**MPPT PADA SISTEM PV MENGGUNAKAN ALGORITMA
FIREFLY DAN MODIFIED P&O DENGAN KONVERTER
HYBRID CUK TERKONEKSI KE GRID SATU PHASA DI
BAWAH KONDISI PARTIAL SHADED**

TUGAS AKHIR

**Diajukan Guna Memenuhi Sebagian Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Teknik
Pada**

**Bidang Studi Teknik Sistem Tenaga
Jurusan Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember**

Menyetujui :

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
NIP. 196603181990101001



Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D.
NIP. 198006032006041003



MPPT Pada Sistem PV Menggunakan Algoritma *Firefly* dan *Modified P&O* dengan Konverter *Hybrid Cuk* Terkoneksi ke Grid Satu Phasa di Bawah Kondisi *Partial Shaded*

Dhuhari Chalis Bani

2212100158

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.

Dosen Pembimbing II : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Bertumbuhnya permintaan energi dan naiknya harga bahan bakar fosil memicu untuk terus dilakukan penelitian tentang peningkatan efisiensi energi terbarukan, terutama sistem Photovoltaic (PV). Dimana PV adalah alat konversi energi dari cahaya matahari menjadi listrik yang memiliki potensi besar di Indonesia tapi masih memiliki efisiensi yang rendah. Untuk meningkatkan efisien sistem PV dapat dioptimalisasikan pada *Maximum Power Point Tracking* (MPPT) dan konverter DC-DC nya.

Sebuah sistem PV array yang dilengkapi sebuah MPPT dengan algoritma gabungan *firefly* (FFA) dan *modified perturb and observe* (P&O) dan sebuah *hybrid cuk converter* bertujuan untuk meningkatkan efisiensi dari PV array tersebut. MPPT dengan algoritma *firefly* dapat menyelesaikan permasalahan *partial shaded* pada PV array dan algoritma *modified P&O* dapat mempercepat iterasi dari MPPT tersebut. Sedangkan *hybrid cuk converter* digunakan untuk meredam *ripple* yang disebabkan algoritma *modified P&O* dan meningkatkan ratio konversi tegangan dengan *duty ratio* yang lebih rendah.

Penelitian ini juga melakukan simulasi sebuah grid dengan sistem PV array. Sebuah inverter digunakan untuk menghubungkan antara sistem PV array dengan grid dan sebuah kontroler digunakan untuk mengatur pembagian beban antara PV dan grid. Hasil dari simulasi menunjukkan bahwa converter beserta kontrolnya mampu mengatur aliran daya maksimum saat perubahan iradiasi.

Kata Kunci : PV, MPPT FFA, MPPT P&O, *Hybrid Cuk Converter*, DC-Link, Inverter satu phasa, Grid

Halaman ini sengaja dikosongkan

MPPT of PV System Using Firefly and Modified P&O with Hybrid Cuk Converter connected to Single Phase Grid Under Partial Shaded Condition

Dhuhari Chalis Bani
2212100158

Dosen Pembimbing I : Dr. Ir. Margo Pujiantara, MT.
Dosen Pembimbing II : Heri Suryoatmojo, ST., MT., Ph.D

Abstract

Increasing of energy demand and fossil fuel cost causes many improvement in renewable energy researches, especially for Photovoltaic (PV). PV is an energy conversion equipment which can convert sunlight becoming electricity. PV has a big potency for implemented in Indonesia, but it has a little efficiency. In increasing the efficiency, PV should be optimized by using Maximum Power Point Tracking (MPPT) and DC-DC *converter*.

In this research, an array PV system is equipped by a MPPT with Firefly algorithm (FFA) and modified perturb and observe algorithm (P&O) and a hybrid cuk converter which is aimed to increase the efficiency. MPPT with FFA can solve a partial shaded condition and modified P&O algorithm can make it faster in finding maximum power point. On the other hand, a hybrid cuk converter is utilized for reducing ripple caused by modified P&O and increasing voltage ratio with lower duty ratio.

This research also simulates the array PV system connected to grid. A single phase inverter is used in interfacing a single phase grid and a controller is used for controlling of load share of grid and PV array. The result of this research shows that converter and the controller can flow the maximum power even in different irradiance level.

Keywords : PV, MPPT FFA, MPPT P&O, Hybrid Cuk Converter, DC-Link, Single Phase Inverter, Grid

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	
LEMBAR PERNYATAAN	
LEMBAR PENGESAHAN	
ABSTRAK	i
ABSTRACT	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
 BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	2
1.3 Tujuan	2
1.4 Batasan masalah	3
1.5 Metodologi	3
1.6 Sistematika Penulisan	4
1.7 Relevansi	5
 BAB 2 PV TERHUBUNG JARINGAN LISTRIK	
2.1 Sel Surya	7
2.1.1 Rangkaian Ekvivalen	7
2.1.2 Iradiasi dan <i>Partial Shaded</i>	10
2.2 Topologi <i>Hybrid Cuk Converter Boost Mode</i>	11
2.3 Mencari <i>Maximum Power Point</i> (MPP)	15
2.3.1 Algoritma <i>Modified Perturb and Observe</i>	15
2.3.2 Algoritma <i>Firefly</i>	18
2.4 <i>Single Phase Grid</i>	20
2.4.1 Rangkaian Inverter Satu Fasa	20
2.4.2 Teknik Modulasi	21
2.4.3 Kontrol <i>Grid Connected</i> Inverter	21
2.4.4 Filter LC	23

BAB 3	PERANCANGAN DAN PEMODELAN PV TERHUBUNG JARINGAN LISTRIK	
3.1	Konfigurasi Sistem PV Terhubung Jaringan Satu Fasa.....	25
3.2	Desain PV	25
3.2.1	Pengujian Panel Surya.....	27
3.3	Parameter <i>Hybrid Cuk Converter Boost Mode</i>	31
3.4	Kontrol MPPT	32
3.5	Desain <i>Single Phase Grid Connected</i>	33
3.5.1	Rangkaian Inverter SatuFasa	33
3.5.2	Kontrol Inverter	34
3.5.3	Filter LC	35
BAB 4	HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA	
4.1	Pengujian Sistem Panel PV	37
4.1.1	Pengujian Algoritma MPPT.....	37
4.2	Analisis Pengujian Konverter.....	42
4.3	Pengujian Inverter (VSI) Terkoneksi Grid.....	44
4.3.1	Perbandingan Sistem PV Terkoneksi ke Grid Dengan Algoritma MPPT yang Berbeda	48
BAB 5	PENUTUP	
5.1	Kesimpulan	49
5.2	Saran	49
DAFTAR PUSTAKA		51
LAMPIRAN		53
DAFTAR RIWAYAT HIDUP		61

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Pensaklaran inverter.....	20
Tabel 3.1	Parameter Panel Surya Canadian Solar CS5P-220M..	25
Tabel 3.2	Daya optimal tiap iradiasi	28
Tabel 4.1	Hasil metode FFA dan P&O	38
Tabel 4.2	Hasil metode P&O	39
Tabel 4.3	Hasil metode PSO	40
Tabel 4.4	Hasil optimasi daya pada PSC	41
Tabel 4.5	Performa <i>hybrid cuk converter</i>	43
Tabel 4.6	Performa cuk converter	43

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Rangkaian ekivalen sel surya.....	7
Gambar 2.2	Kurva karakteristik PV	8
Gambar 2.3	Sel surya, PV modul, PV array	10
Gambar 2.4	Kurva karakteristik PV dengan instensitas berubah ...	10
Gambar 2.5	Kurva <i>partial shaded</i>	11
Gambar 2.6	Topologi <i>hybrid cuk converter</i>	12
Gambar 2.7	Topologi <i>hybrid cuk converter</i> ketika saklar <i>on</i>	12
Gambar 2.8	Topologi <i>hybrid cuk converter</i> ketika saklar <i>off</i>	12
Gambar 2.9	Kondisi kerja PV I	16
Gambar 2.10	Kondisi kerja PV II	16
Gambar 2.11	Kondisi kerja PV III	17
Gambar 2.12	Kondisi kerja PV IV	17
Gambar 2.13	Diagram alur metode <i>modified P&O</i>	18
Gambar 2.14	Topologi inverter satu fasa	20
Gambar 2.15	Gelombang SPWM	21
Gambar 2.16	<i>Double-loop control strategy</i> secara umum	22
Gambar 2.17	<i>Inner current control</i>	22
Gambar 2.18	<i>Outer current control</i>	22
Gambar 3.1	Skema desain integrasi sistem PV	25
Gambar 3.2	Pemodelan rangkaian PV pada Simulink	26
Gambar 3.3	Karakteristik PV P-V 6 modul	26
Gambar 3.4	Karakteristik PV I-V 6 modul	27
Gambar 3.5	Kurva P-V PV dengan intensitas berubah	28
Gambar 3.6	Kurva I-V PV dengan intensitas berubah	28
Gambar 3.7	<i>Partial Shaded Condition</i>	29
Gambar 3.8	Kurva <i>Partial Shaded</i>	30
Gambar 3.9	Diagram alur algoritma MPPT	32
Gambar 3.10	Topologi inverter satu fasa di Simulink.	33
Gambar 3.11	Rangkaian SPWM 1-Phasa	34
Gambar 3.11	<i>Double-loop control strategy</i> secara umum	34
Gambar 3.12	Rangkaian kontrol inverter..	34
Gambar 3.13	Filter LC	35
Gambar 4.1	Grafik perubahan intensitas	37
Gambar 4.2	Grafik <i>duty cycle</i> menggunakan metode FFA dan P&O	38
Gambar 4.3	Grafik daya optimum menggunakan metode FFA dan P&O	38

Gambar 4.4	Grafik daya optimum menggunakan metode P&O	39
Gambar 4.5	Grafik daya optimum menggunakan metode PSO	40
Gambar 4.6	Grafik daya optimum pada PSC	41
Gambar 4.7	Topologi cuk konverter	42
Gambar 4.8	Grafik daya <i>hybrid cuk converter</i>	42
Gambar 4.9	Grafik daya <i>cuk converter</i>	43
Gambar 4.10	Grafik V_o <i>hybrid cuk dan cuk converter</i>	43
Gambar 4.11	Grafik <i>hybrid cuk dan cuk converter</i>	44
Gambar 4.12	Arus sebelum dan sesudah terkoneksi	44
Gambar 4.13	Grafik Daya aktif dan reaktif beban	45
Gambar 4.14	Grafik Daya aktif dan reaktif inverter	46
Gambar 4.15	Grafik Daya aktif dan reaktif grid	46
Gambar 4.16	Perbedaan Phasa antara arus grid dan arus inverter ...	47
Gambar 4.17	Grafik Daya aktif dan reaktif inverter dengan menggunakan algoritma MPPT P&O	48

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Perkembangan tentang energi terbarukan terus berlanjut untuk mendapatkan sumber energi alternatif sebagai pengganti energi fosil. Contohnya adalah teknologi yang memanfaatkan energi cahaya matahari untuk menghasilkan energi listrik. Untuk mengubah energi cahaya matahari menjadi energi listrik dibutuhkan sebuah *photovoltaic* (PV). Dalam pemanfaatan energi terbarukan, PV berkembang secara pesat dibandingkan dengan yang lain. Perkembangan yang cepat ini dikarenakan beberapa hal yaitu konfigurasi yang sederhana, instalasi yang mudah, bebas polusi lingkungan dan biaya perawatan yang relatif rendah.

MPPT atau Maximum Power Point Tracker merupakan kontroler yang memiliki algoritma tertentu untuk mencari nilai daya maksimum pada PV. Sudah banyak algoritma yang digunakan sebagai MPPT seperti P&O, *firefly*, *fuzzy control*, RCC dll. Misalnya algoritma P&O yang memiliki keunggulan pada singkatnya waktu untuk mencapai konvergen, tapi terdapat riak yang besar pada daya PV yang dihasilkan. Selain itu algoritma ini juga tidak dapat mengatasi PV yang berada di bawah kondisi *partial shaded* [1]. Tidak hanya P&O yang memiliki kekurangan, begitu juga metode *firefly*. Algoritma *firefly* memang bisa dimanfaatkan untuk PV yang berada di bawah kondisi *partial shaded*, tapi memiliki waktu konvergen yang lebih lama dari algoritma P&O. Oleh karena ini diajukan sebuah penggabungan antara P&O dan *firefly* menjadi sebuah algoritma yang dapat menyelesaikan *partial shaded* pada PV dengan waktu konvergen yang lebih cepat.

Tidak hanya dari sisi MPPT, tapi sistem PV juga bisa dioptimalkan dengan pemilihan konverter DC-DC yang tepat. Selain digunakan untuk menunjang kerja MPPT, konverter DC-DC juga digunakan untuk menaikkan atau menurunkan tegangan dari nilai tegangan PV menjadi nilai yang kita ingin kan. Konverter DC-DC terdapat banyak jenis, dari yang menaikkan tegangan saja atau menurunkan saja, hingga konverter DC-DC yang bisa menaikkan atau menurunkan tegangan. Sama halnya sebuah algoritma MPPT, setiap jenis konverter juga memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. Misalkan sebuah konverter cuk yang memiliki efisiensi yang baik karena dapat meredam osilasi yang dihasilkan dari algoritma P&O. Tapi, konverter cuk memiliki kekurangan karena membutuhkan *duty ratio* yang tinggi untuk mendapatkan konversi

tegangan yang tinggi dan menahan osilasi tadi [2]. Menangani permasalahan ini, maka digunakanlah sebuah konverter *hybrid cuk converter* dengan mode meningkatkan tegangan, sehingga mendapatkan konversi tegangan yang lebih tinggi dengan *duty ratio* yang lebih rendah, tapi tetap dapat meredam osilasi karena MPPT.

Pada penelitian ini dilakukan pemodelan PV dengan MPPT yang memanfaatkan algoritma *modified perturb and observe* dan *firefly algorithm*. Untuk pemodelan DC-DC *converter*, konverter yang digunakan dalam penelitian ini adalah *hybrid cuk converter boost mode*, dan nantinya akan dihubungkan dengan beban. Beban tersebut akan dikoneksikan ke grid satu phasa. Pemodelan penelitian ini menggunakan SIMULINK/MATLAB *software*.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perubahan intensitas cahaya dan kondisi *partial shaded* pada PV, mempengaruhi daya yang dihasilkan.
2. Optimalisasi daya *output* PV menggunakan MPPT berbasis P&O dan algoritma *Firefly* dengan bantuan *hybrid cuk converter mode boost*.
3. PV dihubungkan pada beban dan grid satu phasa.

1.3. Tujuan dan Manfaat

Penelitian pada ini memiliki tujuan dan manfaat sebagai berikut:

1. Tujuan

- (1) Merancang algoritma gabungan *firefly* dan P&O pada MPPT yang tepat untuk kondisi *partial shaded*.
- (2) Melakukan simulasi *hybrid cuk converter boost mode* yang dapat meredam osilasi dan memiliki konversi ratio tegangan yang tinggi dengan *duty ratio* yang lebih rendah.

2. Manfaat

- (1) Dapat dijadikan acuan dalam pembuatan MPPT dan converter pada sistem PV yang efisien.
- (2) Dapat dijadikan referensi penelitian lebih lanjut mengenai MPPT dan converter pada sistem PV.

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah yang akan diuraikan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pemodelan, simulasi dan analisis menggunakan *software* MATLAB/SIMULINK R2009a.
2. Pengujian PV dilakukan dengan cara perubahan intensitas cahaya yaitu 1000W/m^2 , 700W/m^2 , 500W/m^2 .
3. Pada penelitian ini tidak membahas harmonisa pada keluaran inverter satu fasa.
4. Jaringan listrik yang digunakan adalah grid dengan tegangan 220V.

1.5. Metodologi

Metode yang digunakan pada penelitian penelitian ini terbagi menjadi beberapa tahap. Keterangan mengenai masing-masing tahapan adalah sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan pengumpulan dan pengkajian tentang referensi terkait topik penelitian yang diajukan. Referensi yang digunakan untuk menunjang penelitian seperti buku meteri, jurnal ilmiah, artikel ilmiah, pendapat para ahli, dan hasil penelitian terkait.

2. Pemodelan PV

Pemodelan PV dilakukan menggunakan perangkat lunak, yakni SIMULINK/MATLAB.

3. Pengujian PV

Selanjutnya, dilakukan pengujian PV dengan intensitas cahaya yang berubah-ubah.

4. Merancang dan Menguji MPPT dengan Algoritma P&O

Pada tahap ini dilakukan perancangan MPPT dengan algoritma P&O. Setelah dirancang, MPPT ini diuji pada kondisi intensitas cahaya dan beban yang berbeda.

5. Merancang dan Menguji MPPT dengan Algoritma *Firefly* dan P&O

Pada tahap ini dilakukan perancangan MPPT dengan algoritma *firefly*. Setelah dirancang, MPPT ini diuji pada kondisi intensitas cahaya, *partial shaded*, dan beban yang berbeda.

6. Pemodelan dan Pengujian *grid connected inverter* dengan *current control*.

Pada tahap ini dilakukan pemodelan PLL untuk mengatur frekuensi dari sisi masukan inverter agar sama dengan frekuensi sistem jaringan. Selain itu, *current control* juga dilakukan untuk mengatur arus yang akan masuk ke grid. Setelah dilakukan pemodelan, maka dilakukan pengujian terhadap semua sistem yang terintegrasi dengan PV.

7. Kesimpulan dan Saran

Kesimpulan dan saran mengacu pada data pengujian, analisis data, dan referensi terkait.

8. Penyusunan Buku Penelitian

Tahap ini adalah tahap terakhir dari pengerjaan penelitian sebagai bentuk laporan tertulis dari proses dan hasil kerja terkait topik yang diajukan.

1.6. Sistematika Penulisan

Penelitian ini terdiri dari lima bab. Adapun susunan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

BAB 1. Pendahuluan

Bab ini berisi mengenai latar belakang, permasalahan, tujuan dan manfaat, batasan masalah, metodologi, sistematika penulisan, dan relevansi penelitian.

BAB 2. Sistem PV Terhubung Jaringan

Bab ini berisi teori penunjang tentang PV, *Hybrid Cuk Converter Boost Mode*, *Single Phase Inverter*, *Perturb and Observe Algorithm*, *Firefly Algorithm*, dan *grid connected inverter*.

BAB 3. Pemodelan Sistem

Bab ini membahas tentang pemodelan sistem PV, *Hybrid Cuk Converter Boost Mode*, *Single Phase Inverter*, *Perturb and Observe Algorithm*, *Firefly Algorithm*, dan *grid connected inverter*.

BAB 4. Hasil Simulasi dan Analisis

Bab ini berisi hasil simulasi dan analisa dari hasil simulasi.

BAB 5. Penutup

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian yang dilakukan dan saran untuk kedepannya.

1.7. Relavansi

Penelitian memiliki hasil dengan harapan dapat memberikan manfaat, yaitu:

1. Menjadi sebuah referensi yang dapat menunjang perusahaan-perusahaan listrik yang memiliki fokus di bidang energi terbarukan.
2. Menjadi sebuah referensi bagi mahasiswa yang akan mengerjakan penelitian dengan topik energi terbarukan.

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 2

PV TERHUBUNG JARINGAN LISTRIK

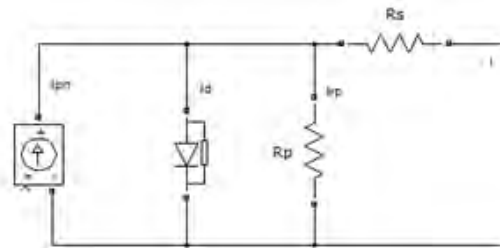
2.1. Sel Surya

Sel surya merupakan sebuah peralatan yang mirip dengan *solar panel* tapi dua hal ini bekerja dengan cara yang berbeda. *Solar panel* digunakan untuk menghasilkan air panas atau uap. Sel surya mengkonversi cahaya matahari secara langsung menjadi listrik. Contoh sebuah peralatan yang biasa menggunakan sel surya adalah kalkulator. Peralatan ini hanya membutuhkan sedikit energi listrik untuk bekerja dan bahkan dapat digunakan meskipun hanya disinari oleh sebuah lampu bohlam. Sel surya dibuat dari bahan semikonduktor yang biasanya menggunakan bahan *silicon*. *Silicon* merupakan bahan semikonduktor yang dapat mengalirkan listrik. Selain itu *boron* atau *phosphorus* dimasukkan dalam material dasar sel surya. Hal ini berguna untuk membuat sebuah lingkungan untuk elektron bergerak di dalamnya.

Untuk menjadi sebuah *photovoltaic*, kepingan-kepingan sel surya disusun secara seri sehingga menjadi sebuah modul sel surya. Hal ini bertujuan agar mendapatkan energi listrik yang lebih besar. Untuk skala besar, *photovoltaic* juga sering dibuat dalam sebuah *PV array*.

2.1.1. Rangkaian Ekuivalen

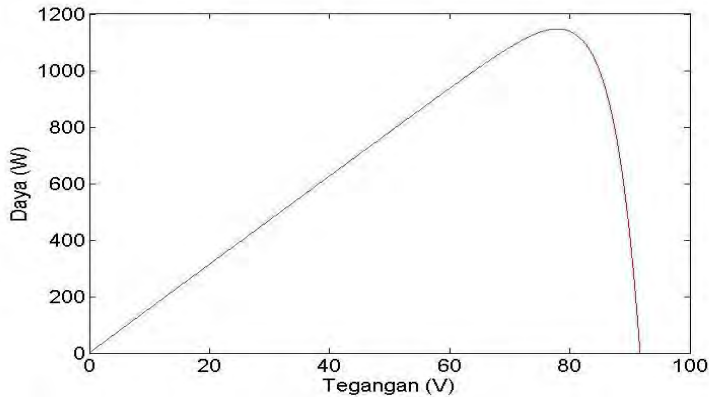
Rangkaian ekuivalen dari sebuah sel surya terdiri dari sebuah dioda yang terhubung paralel dengan sebuah sumber arus.



Gambar 2.1 Rangkaian ekuivalen sel surya

Ada dua buah kondisi yang menjadi perhatian pada rangkaian ekuivalen PV. Seperti pada gambar 2.1, (1) Sebuah aliran arus *short-circuit* I_{sc} akan mengalir ketika terminal dihubungkan singkatkan secara

bersama (dan (2) Adanya tegangan V_{oc} (tegangan *open circuit*) pada terminal yang terbuka [3]. Dengan menggunakan kedua kondisi tersebut dapat dihasilkan sebuah kurva karakteristik PV seperti pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Kurva karakteristik PV

Pada sebuah rangkaian ekivalen PV terdapat dua buah resistansi yang masing-masing dipasang paralel (R_p) dan seri (R_s). R_p pada rangkaian ekivalen ini merepresentasikan keadaan ketika salah satu sel surya yang terhubung seri dengan sel lainnya tidak tersinari matahari dengan intensitas yang sama dengan sel lainnya. Sedangkan R_s mewakili kontak antar sel yang dan kabelnya, bahkan resistansi pada semikonduktor ini sendiri.

Persamaan matematis dari sebuah rangkaian ekivalen sel surya adalah sebagai berikut:

$$I = I_{SC} - I_0 \left\{ \exp \left(\frac{q(V + IR_s)}{kT} \right) - 1 \right\} - \left(\frac{V + IR_s}{R_p} \right) \quad (2.1)$$

Keterangan:

- I = Arus keluaran PV
- T = Suhu Matahari
- V = Tegangan terminal PV
- R_s = Resistansi seri
- R_p = Resistansi Paralel
- I_0 = Arus saturasi diode

I_{ph}	= Arus hasil dari foton
R_{sh}	= Resistansi paralel
q	= <i>electron charge</i> ($1,6 \times 10^{-19} \text{ C}$)
I_{ph}	= arus cahaya (<i>photo current</i>)
A	= Konstanta kualitas dioda ($1 \leq A \leq 2$)
K	= Konstanta Boltzman ($1,38 \times 10^{-23} \text{ J/}^\circ\text{K}$)

I_{sc} atau juga disebut I_{ph} merupakan arus yang berasal dari sumber arus pada rangkaian ekivalen PV memiliki persamaan berikut:

$$I_{ph} = \left(I_{sc} + K_1(T - T_{ref}) \right) \frac{G}{G_o} \quad (2.4)$$

Keterangan:

I_{sc} : Arus hubung singkat pada kondisi standar

K_1 : Koefisien suhu sel

G : Iradiasi kerja sel

G_o : Referensi iradiasi (1.000 W/m^2)

Dimana I_o memiliki persamaan sebagai berikut:

$$I_o = I_{o_{ref}} \left(\frac{T}{T_{ref}} \right)^{\frac{3}{n}} \exp \left(\frac{-qE_g}{n.K} \left(\frac{1}{T} - \frac{1}{T_{ref}} \right) \right) \quad (2.2)$$

$I_{o_{ref}}$ adalah arus saturasi dioda pada kondisi standar (1.000 W/m^2 dan 25°C)

$$I_{o_{ref}} = \frac{I_{sc}}{e^{\frac{qV_{oc}}{n.K.T_{ref}} - 1}} \quad (2.3)$$

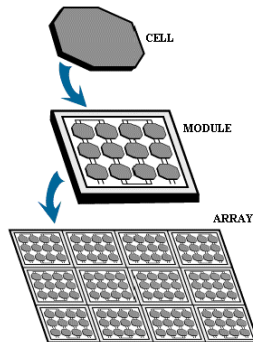
Untuk meningkatkan daya yang ingin dihasilkan, sel surya disusun menjadi sebuah modul PV. Dari tiap-tiap modul PV, biasa disusun lagi untuk membentuk sebuah PV *array*. Berikut adalah persamaan yang digunakan untuk menentukan arus pada terminal PV *array*:

$$I = N_p I_{ph} - N_p I_o e^{\frac{q}{n.K.T} \left(\frac{V_{pv}}{N_s} + \frac{R_s I_{pv}}{N_p} \right) - 1} - \frac{N_p}{R_{sh}} \left(\frac{V_{pv}}{N_s} + \frac{R_s I_{pv}}{N_p} \right) \quad (2.5)$$

Keterangan:

N_p =Jumlah modul PV yang disusun secara paralel

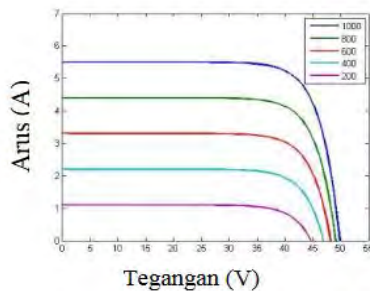
N_s =Jumlah modul PV yang disusun secara seri



Gambar 2.3 Sel surya, PV modul, PV array

2.1.2. Iradiasi dan *Partial Shaded Condition*

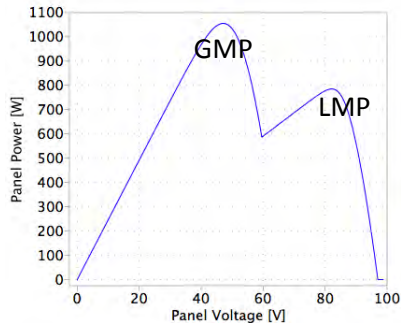
Iradiasi matahari yang terpapar pada PV merupakan parameter yang sangat berpengaruh dalam menghasilkan arus (I_{ph}). Dengan menurunnya iradiasi/intensitas matahari, maka akan menyebabkan turunnya arus dan daya yang dihasilkan PV. Setiap nilai iradiasi yang berbeda, PV memiliki kurva karakteristik dan titik daya maksimum yang berbeda pula.



Gambar 2.4 Kurva karakteristik PV dengan instensitas berubah

Pada PV *array* selain perubahan intensitas cahaya matahari, ketidak seragaman intensitas cahaya yang mengenai maing-masing modul

PV pun juga sangat mempengaruhi kurva karakteristik dari PV array itu sendiri. Ketidakteraturan ini menyebabkan terbentuknya *Local Maximum Point* (LMP) dan *Global Maximum Point* (GMP).



Gambar 2.5 Kurva *patial shaded*

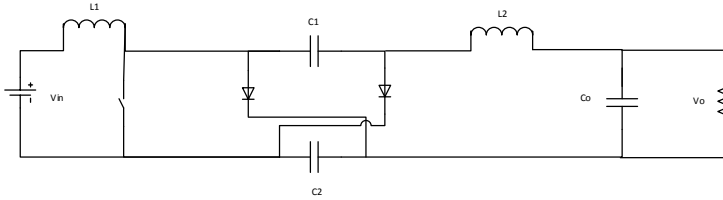
2.2. Topologi *Hybrid Cuk Converter Boost Mode*

Ketika merancang sebuah MPPT, salah satu yang harus diperhitungkan adalah memilih DC-DC *converter* yang efisien. Dari semua topologi yang ada, antara *cuk* dan *buck-boost converter* dapat menaikkan atau menurunkan tegangan input. Meskipun konfigurasi *buck-boost converter* lebih murah, tapi memiliki beberapa keterbatasan seperti respon transien yang buruk. *Cuk converter* juga memiliki *switching losses* yang cukup rendah.

Disisi lain, *cuk converter* juga memiliki kelemahan, yaitu tidak dapat menaikkan atau menurunkan dengan rasio yang ekstrim. Untuk menghasilkan rasio yang besar, membutuhkan nilai *duty cycle* yang tinggi pula. Sehingga, apabila ingin menaikkan secara ekstrim, maka memerlukan *duty cycle* yang tinggi. Tapi, terdapat masalah dalam menggunakan *duty cycle* yang tinggi, seperti kegagalan *switching frequency* karena waktu konduksi yang sangat singkat pada diode atau transistor.

Untuk menyelesaikan permasalahan ini, sebuah penyaklaran sederhana dengan dua struktur untuk menaikkan tegangan dimodelkan pada penelitian ini. Sebuah topologi menaikkan tegangan tadi dimasukan pada topologi *cuk converter* untuk menghasilkan rasio tegangan yang tinggi. Penggabungan ini menghasilkan topologi baru yang bernama *Hybrid Cuk Converter Boost Mode*. Adapun persamaan rasio tegangannya adalah:

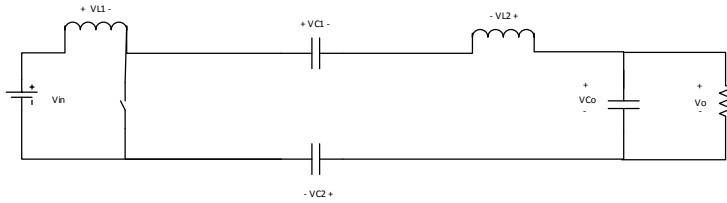
$$\frac{V_o}{V_{in}} = \frac{1+D}{1-D} \quad (2.6)$$



Gambar 2.6 Topologi *hybrid cuk converter*

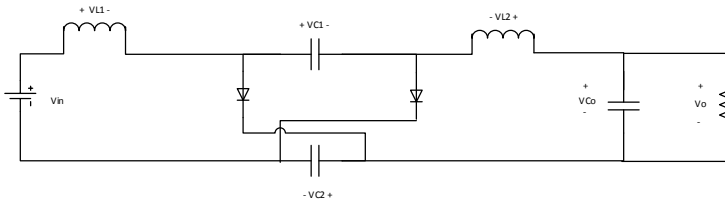
Berikut adalah analisis rangkaian *hybrid cuk converter boost mode* saat kondisi saklar *on* dan *off*.

a. Saklar *on*



Gambar 2.7 Topologi *hybrid cuk converter* ketika scalar *on*

b. Saklar *off*



Gambar 2.8 Topologi *hybrid cuk converter* ketika scalar *off*

Berikut adalah persamaan rangkaian *hybrid cuk converter boost mode* pada L_1 :

$$(V_{in}D)T_s + (V_{in} - V_c)(1 - D)T_s = 0 \quad (2.7)$$

Dan persamaan rangkaian *hybrid cuk converter boost mode* pada L_2 :

$$\begin{aligned} (V_o - 2V_c)DT_s + (V_o - V_c)(1 - D)T_s &= 0 \\ (V_o - V_c)(1 - D) &= (2V_c - V_oD) \\ V_o - V_c - V_oD + V_cD &= 2V_cD - V_oD \\ V_o &= V_c + V_cD \end{aligned} \quad (2.8)$$

Untuk persamaan antara tegangan kapasitor C_1 atau C_2 dengan tegangan *input*.

$$V_c = \frac{1}{1-D} V_{in} \quad (2.9)$$

Dari persamaan (2.8) dan persamaan (2.9), maka hubungan antara tegangan input dan tegangan output adalah:

$$\begin{aligned} V_o &= V_c (1 + D) \\ V_o &= \frac{(1 + D)}{(1 - D)} V_{in} \end{aligned} \quad (2.10)$$

c. Parameter komponen:

a. Induktor L_1

P_o adalah daya keluaran, P_{in} adalah daya masukan.

$$\begin{aligned} P_{in} &= P_o \\ V_{in}I_{L1} &= \frac{V_o^2}{R_o} \\ I_{L1} &= \frac{\frac{(1 + D)^2}{(1 - D)^2} V_{in}^2}{V_{in}R_o} \\ I_{L1} &= \frac{(1 + D)^2 V_{in}}{(1 - D)^2 R_o} \end{aligned} \quad (2.11)$$

Dimana V_{in} adalah tegangan masukan dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} V_{in} &= L_1 \frac{d_i}{dt} \\ \Delta i &= \frac{V_i DT}{L_1} \end{aligned} \quad (2.12)$$

Kondisi yang digunakan pada inductor L_1 adalah CCM (*Continious Conduction Mode*), sehingga dari persamaan 2.11 dan persamaan (2.12) didapatkan:

$$L_1 > \frac{DT(1+D)^2}{R_o(1-D)^2} \quad (2.13)$$

b. Induktor L_2

P_o adalah daya keluaran, P_c adalah daya masukan.

$$\begin{aligned} P_c &= P_o \\ V_c I_{L2} &= \frac{V_o^2}{R_o} \\ \frac{V_{in}}{1-D} I_{L2} &= \frac{(1+D)^2 V_{in}^2}{R_o(1-D)^2} \\ I_{L2} &= \frac{(1+D)^2 V_{in}}{(1-D)R_o} \end{aligned} \quad (2.14)$$

Dimana V_o adalah tegangan keluaran dengan persamaan berikut:

$$\begin{aligned} V_c + V_o &= V_L \\ \frac{V_{in}}{(1-D)} + \frac{(1+D)}{(1-D)} V_{in} &= \frac{L_2 d_i}{dt} \\ \Delta i &= \frac{V_i(2+D)T}{L_2} \end{aligned} \quad (2.15)$$

Kondisi yang digunakan pada inductor L_2 adalah CCM (*Continious Conduction Mode*), sehingga dari persamaan (2.14) dan persamaan (2.15) didapatkan:

$$L_2 > \frac{(2+D)(1-D)R_o T}{(1+D)^2} \quad (2.16)$$

c. Kapasitor C_1 dan C_2

$$\begin{aligned}
 \Delta Q_C &= C \Delta V_C \\
 I_{L2} \Delta t &= C \Delta V_C \\
 C &= \frac{I_{L2} \Delta t}{\Delta V_C} \\
 C &= \frac{V_O^2 (1 - D) T D}{R_O V_{in} \Delta V_C} \quad (2.17)
 \end{aligned}$$

d. Kapasitor C_o

$$\begin{aligned}
 \Delta Q_o &= C_o \Delta V_o \\
 I_o \Delta t &= C_o \Delta V_o \\
 C &= \frac{V_o D T}{R_o \Delta V_o} \quad (2.18)
 \end{aligned}$$

2.3. Mencari *Maximum Power Point* (MPP)

Sebuah PV modul memiliki titik kerja maksimum yang berbeda setiap intensitas cahaya matahari yang berbeda. Untuk itu perlu sebuah *controller* yang digunakan untuk mencari nilai daya maksimum. *Controller* ini bernama *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) yang menggunakan sebuah algoritma untuk mencari MPP. Ada banyak algoritma yang telah digunakan, yaitu *fuzzy logic*, *perturb and observe* (P&O) *incremental conductance*, *ripple correlation control*, *firefly algorithm* (FA) dan lainnya. Dari masing-masing algoritma memiliki kelebihan dan kekurangannya.

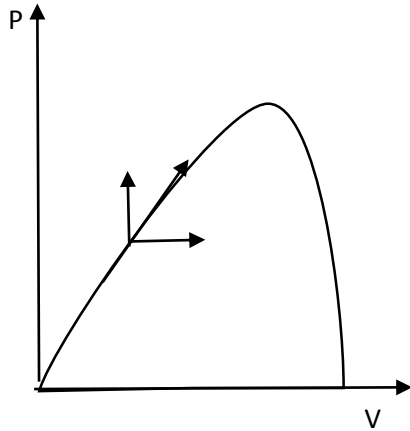
Dalam mengerjakan penelitian ini digunakan algoritma gabungan antara P&O dan FA. Algoritma P&O merupakan algoritma yang sangat cepat untuk jika dibandingkan dengan FA. Tapi algoritma P&O dapat terjebak pada LMP jika terjadi *partial shaded condition* (PSC). Untuk itu ditambahkan sebuah algoritma yang dapat mengatasi PSC.

2.3.1 Algoritma *Modified Perturb and Observe*

Algoritma P&O bekerja berdasarkan observasi pada daya keluaran PV dan memberi gangguan berupa penambahan atau pengurangan daya dengan mengubah nilai *duty cycle*. Algoritma ini dibagi menjadi empat keadaan untuk dilakukan observasi.

- **Kondisi Pertama**
Kondisi ini merupakan daerah menanjak, untuk itu pada kondisi ini nilai *duty cycle* diturunkan agar daya keluaran PV akan naik

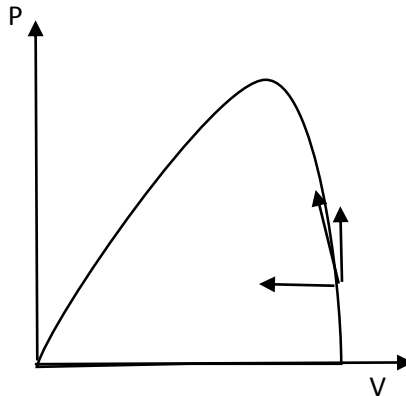
$$\begin{aligned} P_n &> P_{n-1} \\ V_n &> V_{n-1} \end{aligned}$$



Gambar 2.9 Kondisi kerja PV I

- **Kondisi Kedua**
Kondisi ini merupakan daerah menanjak, untuk itu pada kondisi ini nilai *duty cycle* diturunkan agar daya keluaran PV akan naik

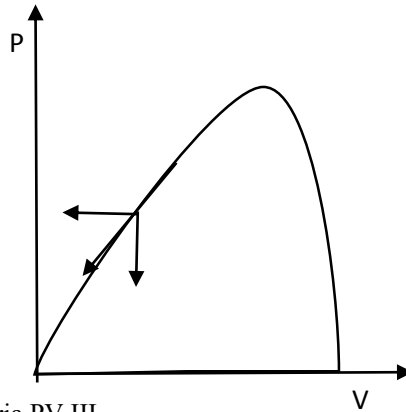
$$\begin{aligned} P_n &> P_{n-1} \\ V_n &< V_{n-1} \end{aligned}$$



Gambar 2.10 Kondisi kerja PV II

- **Kondisi Ketiga**
Kondisi ini merupakan daerah menurun, untuk itu pada kondisi ini nilai *duty cycle* dinaikan agar daya keluaran PV akan naik

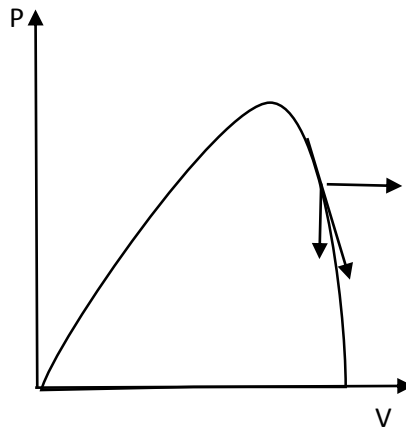
$$\begin{aligned} P_n &< P_{n-1} \\ V_n &< V_{n-1} \end{aligned}$$



Gambar 2.11 Kondisi kerja PV III

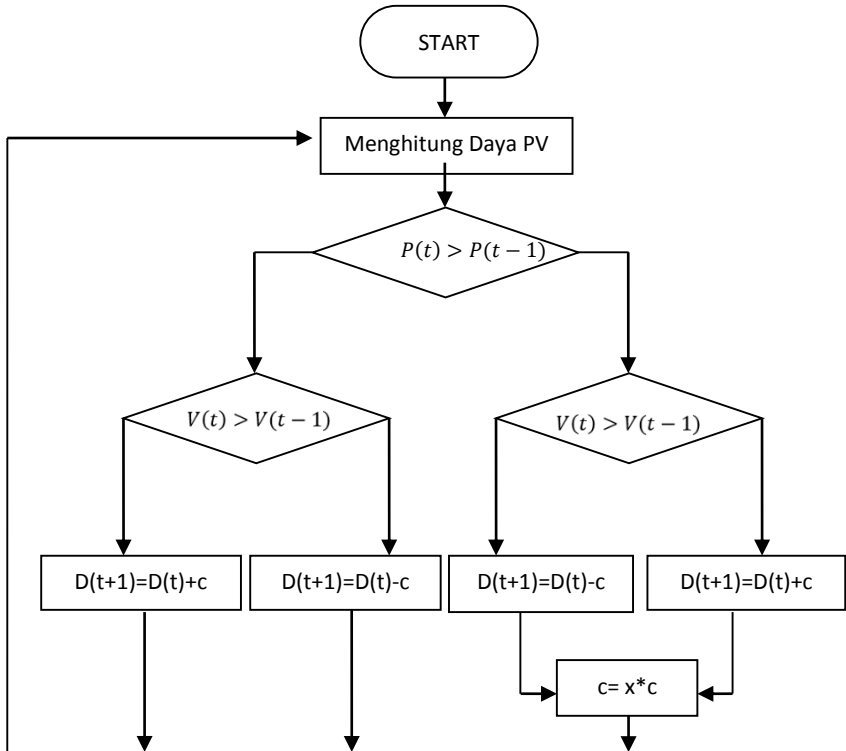
- **Kondisi Keempat**
Kondisi ini merupakan daerah menurun, untuk itu pada kondisi ini nilai *duty cycle* diturunkan agar daya keluaran PV akan naik

$$\begin{aligned} P_n &< P_{n-1} \\ V_n &> V_{n-1} \end{aligned}$$



Gambar 2.12 Kondisi kerja PV IV

Pada algoritma P&O yang paling sederhana, nilai gangguan yang diberikan kepada *duty ratio* bernilai konstan. Berbeda dengan *modified P&O*, yang mana nilai gangguannya akan berubah dikarenakan ada sebuah faktor pengali yang nilainya besar dari 0 dan kurang dari 1. Berikut adalah *flowchart* dari algoritma P&O:



Gambar 2.13 Diagram alur metode *modified P&O*

2.3.2 Algoritma *firefly*

Algoritma *firefly* terinspirasi oleh pergerakan kunang-kunang. Pada algoritma ini, ada 3 asumsi yang digunakan: 1) semua kunang-kunang adalah *unisex*, sehingga kunang-kunang tertarik dengan kunang-kunang yang lain tidak memperhitungkan jenis kelamin kunang-kunang tersebut. 2) Ketertarikan antar kunang-kunang berdasarkan seberapa

terang dari kunang-kunang tersebut. Kunang-kunang yang lebih redup maka akan tertarik dan berpindah mendekati kunang-kunang yang lebih terang. 3) terang redupnya seekor kunang-kunang ditentukan dalam semua fungsi objektif.

Misalkan ada 2 ekor kunang-kunang, p dan q, yang memiliki jarak r_{pq} dan masing-masing posisi kunang tersebut adalah X_p dan X_q yang merepresentasikan *duty cycle* pada MPPT.

$$r_{pq} = \|X_p - X_q\|$$

$$\beta(r) = \beta_0 e^{-\gamma(r_{pq})^n}, \quad n \geq 1$$

Dimana β_0 adalah initial derajat ketertarikan, biasanya bernilai 1.

Asumsikan bahwa kunang-kunang p lebih redup dari pada kunang-kunang maka, posisi baru akan diperoleh oleh kunang-kunang q sesuai dengan persamaan berikut:

$$X_p^{t+1} = X_p^t + \beta(r)(X_p - X_q) + \alpha(rand - \frac{1}{2})$$

Rand di dalam persamaan adalah nilai acak yang terdistribusi dari 0 dan 1 [4]. Besarnya nilai membuat pergerakan untuk mencari tempat yang jauh dan apabila kecil maka cenderung mencari pada pencarian lokal.

Untuk sebuah algoritma pasti ada langkah-langkah yang disusun secara urut untuk menyelesaikan permasalahan dengan baik, begitu pula algoritma ini. Berikut adalah langkah-langkah dari algoritma ini [5]:

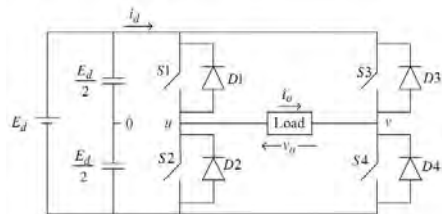
1. Menentukan parameter-parameter yang ada, dan jumlah kunang-kunang yang akan disebar. Semakin banyak kunang-kunang yang disebar maka hasil yang didapatkan akan lebih akurat, tapi disini lain jumlah iterasi yang akan bekerja semakin lama.
2. Menginisialisasi kunang-kunang. Posisi dari kunang-kunang diberi batasan. Dikarenakan posisi dari kunang-kunang merepresentasikan *duty cycle*, maka posisi kunang-kunang dibatasi nilainya sesuai dengan *duty cycle* yang diperbolehkan dari konverter yang digunakan.
3. Mengevaluasi nilai terang redupnya dari tiap posisi kunang-kunang. Terang redupnya kunang-kunang menggambarkan besar kecilnya daya dari tiap posisi (*duty cycle*) kunang-kunang.

4. Menentukan posisi kunang-kunang yang baru. Posisi kunang-kunang yang redup akan berpindah ke kunang-kunang yang lebih terang.
5. Iterasi selesai, dan akan bekerja lagi apabila terdapat perubahan suhu dan intensitas.

2.4 Single Phase Grid

2.4.1 Rangkaian Inverter Satu Fasa

Pada penelitian ini digunakan sebuah inverter satu fasa sebagai penghubung antara sistem PV dan grid satu fasa. Inverter satu juga bertujuan untuk mengubah listrik arus searah (DC) menjadi listrik arus bolak balik (AC).



Gambar 2.14 Topologi inverter satu fasa

Terdapat 2 jenis inverter berdasarkan tempat penyimpanan sumber DC sementara yakni *Current Source Inverter (CSI)* dan *Voltage Source Inverter (VSI)*. CSI merupakan penyimpanan DC sementara dengan menggunakan inductor setelah sumber DC, sedangkan VSI menggunakan kapasitor untuk penyimpanan semmentarnya.

Pada gambar 2.14, terdapat 4 buah *switching device* yang digunakan untuk membalikan polaritas sumber DC sehingga menjadi AC. Ada beberapa *switching device* yang dapat digunakan untuk inverter misalnya adalah IGBT dan MOSFET. Keempat *Switching device* diatur on dan off-nya dengan menggunakan sinyal kontrol yang diterapkan pada terminal *switching device*.

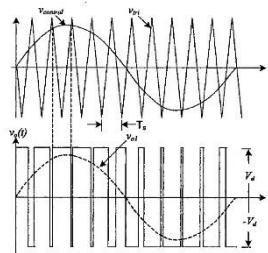
Tabel 2.1 Pensaklaran inverter

No	Kondisi	V _o
1	S1, S4 on dan S2, S3 off	+V _{dc}
2	S1, S4 on dan S2, S3 on	-V _{dc}

Dari table 2.1 menunjukkan bahwa terdapat kombinasi penyaklaran. Untuk saklar S1 dan S4 bekerja secara bersamaan, sedangkan S2 dan S3 bekerja secara bersamaan. Kedua pasang saklar ini tidak dapat bekerja secara bersamaan. Untuk itu dibutuhkan teknik modulasi yang dapat mengatur penyaklaran inverter tersebut.

2.4.2 Teknik Modulasi

Seperti yang dijelaskan sebelumnya bahwa teknik modulasi dibutuhkan untuk mengatur penyaklaran dari inverter. Ada beberapa macam teknik modulasi seperti *square wave*, *quasi square wave*, *pulse width modulation (PWM)*, *sinusoidal pulse width modulation (SPWM)*. Pada penelitian kali ini teknik modulasi yang akan digunakan adalah SPWM. SPWM ini memanfaatkan tegan sinusoidal sebagai tegangan referensi (V_{ref}) dan tegangan sinyal segitiga sebagai tegangan *carrier* (V_{crr}). Teknik modulasi ini membandingkan antara kedua tegangan ini.



Gambar 2.15 Gelombang SPWM

Inverter yang terhubung jaringan listrik perlu adanya sebuah kontrol khusus yang bertujuan untuk mengatur teknik modulasi SPWM. Kontrol SPWM digunakan untuk membuat amplitude, frekuensi, dan fasa dari grid sama dengan keluaran inverter.

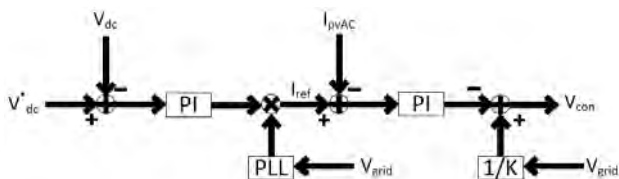
2.4.3 Kontrol Grid Connected Inverter

Dalam menghubungkan inverter ke grid dibutuhkan sebuah *controller* penyaklaran pada inverter tersebut. *Controller* ini digunakan untuk mengatur aliran daya antara sumber DC dan grid tersebut. Terdapat dua jenis *controller*, yakni *voltage control* dan *current control*.

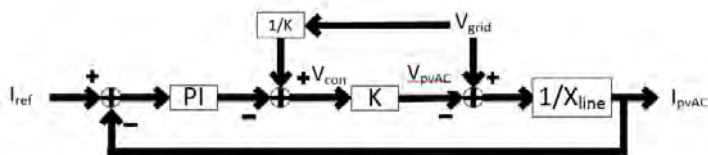
Pada penelitian ini menggunakan *current control*, yang mana *controller* ini membandingkan arus refererensi dengan arus aktual. Sinyal

error arus ini kemudian masuk kedalam *current regulator*, dalam hal ini PI berperan sebagai *current regulator*. Keluaran PI adalah sinyal tegangan yang nantinya akan digunakan sebagai sinyal referensi pada SPWM.

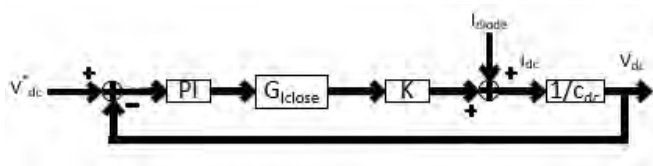
Pada inverter, tegangan DC link sisi masukan inverter dapat diatur dengan nilai yang sesuai dengan referensinya. Hal ini diatur dengan cara mengatur aliran arus aktif yang mengalir ke grid. Dengan mengurangi aliran arus yang mengalir ke grid dan mengalihkan ke kapasitor DC link, maka tegangan DC link akan mencapai nilai referensi yang ditentukan.



Gambar 2.16 Double-loop control strategy secara umum



Gambar 2.17 Inner current control



Gambar 2.18 Outer voltage loop

2.4.4 Filter LC

Filter digunakan pada sisi keluaran inverter dengan tujuan agar tegangan dan arus yang dihasilkan terbentuk pada nilai frekuensi fundamentalnya yaitu 50 Hz. Ada berbagai jenis filter yang digunakan pada sistem interkoneksi grid dari inverter seperti filter L, filter LC, filter LCL, filter LCL-LC dan masih banyak lagi modifikasi filter dengan tujuan sedapat mungkin gelombang tegangan dan arus yang dihasilkan tidak memiliki harmonisa yang berlebih .

Pada penelitian ini jenis filter yang digunakan adalah filter LC. Berikut adalah persamaan nilai desain filter LC:

$$L_f = \frac{V_{dc}}{16f_s \Delta I_{max}} \quad (2.19)$$

Dengan f_s adalah frekuensi SPWM inverter dan ΔI_{max} adalah riak arus maksimal.

Sedangkan untuk desain nilai kapasitansi, perlu diperhatikan bahwa kondisi variasi faktor daya maksimal adalah ditentukan sebesar 5%. Sehingga nilai desain kapasitor adalah

$$C_f = 0,05 \frac{1}{2\pi f_N Z_{base}} \quad (2.20)$$

Dimana f_N adalah frekuensi grid dan Z_{base} adalah nilai dasar impedansi yang dihitung dari $Z_{base} = \frac{v_g^2}{(P_{inv})}$.

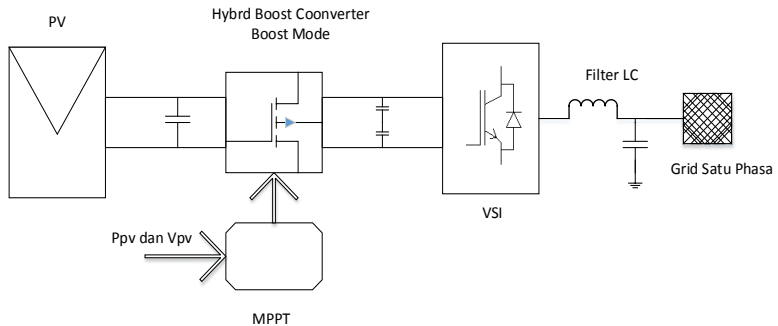
Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 3

PERANCANGAN DAN PEMODELAN PV TERHUBUNG JARINGAN LISTRIK

3.1. Konfigurasi Sistem PV Terhubung Jaringan Satu Fasa

Perancangan dan pemodelan sistem dibuat dengan menggunakan SIMULINK/MATLAB. Pemodelan ini terdiri dari PV dengan *Partial Shaded Condition*, *Hybrid Cuk Converter Boost Mode*, *Single Phase Inverter*, filter LC dan jaringan listrik satu fasa.



Gambar 3.1 Skema desain integrasi sistem PV

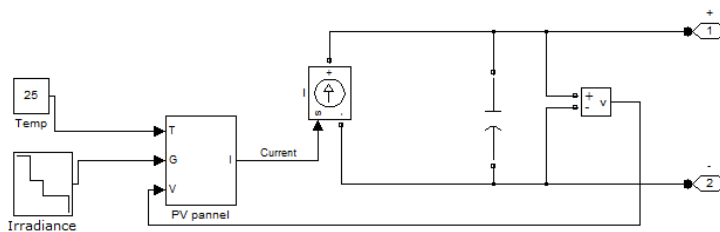
3.2. Desain PV

PV yang digunakan adalah CHSM 5612M dengan daya 200Wp. *Datasheet* panel surya ditunjukkan pada table 3.1 berikut:

Tabel 3.1 Parameter Panel Surya Canadian Solar CS5P-220M

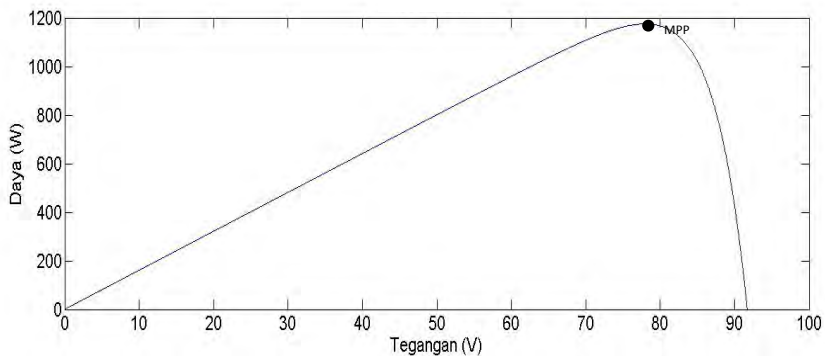
Parameter	Nilai
Tipe sel surya	Mono-crystalline
Jumlah sel surya	72 (6 x 12)
Daya maksimum	200 W
Tegangan daya maksimum (Vmp)	37.46 V
Arus daya maksimum (Imp)	5.3 A
Tegangan rangkaian terbuka (Voc)	45.8 V

Parameter	Nilai
Arus hubung singkat (I_{sc})	5.63 A
Koefisien suhu rangkaian terbuka $-(0,35) \text{ } \%/^{\circ}\text{K}$
Koefisien suhu rangkaian hubung singkat	... $.(0,062) \text{ } \%/^{\circ}\text{K}$
Koefisien suhu daya $-(0,48) \text{ } \%/^{\circ}\text{K}$...
Tes Uji Standar	
Intensitas cahaya	1.000 W/m ²
Suhu	25°C

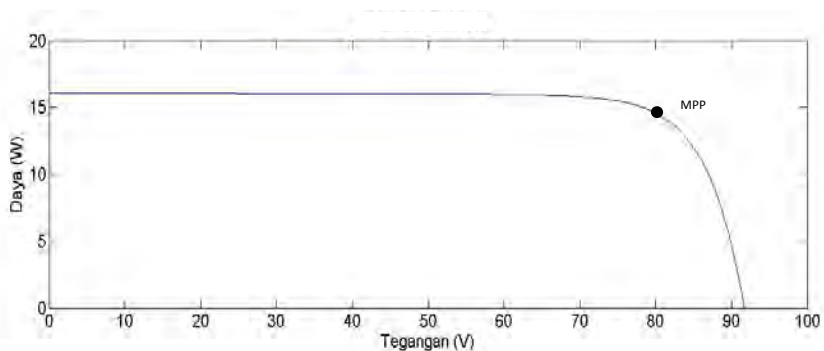


Gambar 3.2 Pemodelan rangkaian PV pada Simulink

Pada penelitian ini digunakan modul PV sebesar 800Wp. Dengan daya 200Wp tiap modul, maka modul PV disusun membentuk array sebanyak 6 buah modul. Modul-Modul tersebut disusun sebanyak 2 seri dan 3 paralel.



Gambar 3.3 Karakteristik PV P-V 6 modul



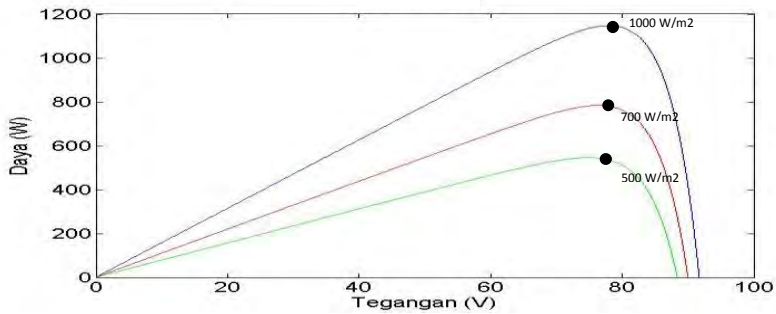
Gambar 3.4 Karakteristik PV I-V 6 modul

Penyusunan panel surya yang dihubungkan seri sebanyak 2 modul dan 3 paralel akan mengubah parameter-parameter PV menjadi PV array pada kondisi standar sebagai berikut:

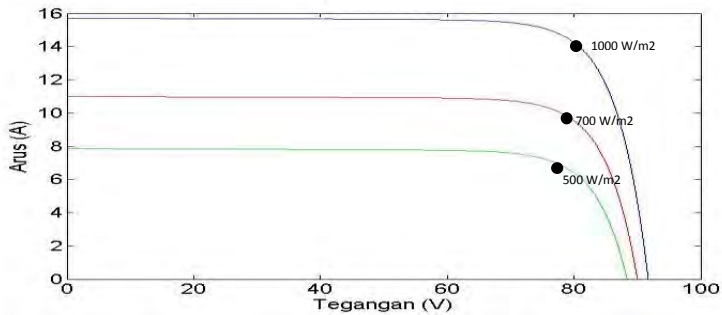
- | | |
|-------------------------------|----------|
| a) Jumlah sel surya | =432 sel |
| b) Daya maksimum | =1200 Wp |
| c) Tegangan Optimal | =74.92 V |
| d) Arus optimal | =15.9 A |
| e) Tegangan rangkaian terbuka | =91.6 V |
| f) Arus hubung singkat | =16.89 A |

3.2.1 Pengujian Panel Surya

Pengujian Panel surya dilakukan pada kondisi suhu tetap yaitu 25°C (STC) dan nilai iradiasi yang berbeda-beda yaitu $1000\text{W}/\text{m}^2$, $700\text{W}/\text{m}^2$, $500\text{W}/\text{m}^2$. Pengujian ini dilakukan dengan memasang sebuah kapasitor pada sebuah PV array dengan rangkaian terbuka. Kapasitor tadi bertujuan untuk mendapatkan kurva karakteristik PV antara arus terhadap tegangan dan antara daya terhadap tegangan. Berikut adalah gambar kurva hasil pengujian panel surya:



Gambar 3.5 Kurva P-V PV dengan intensitas berubah

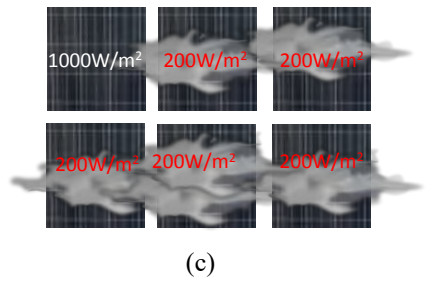
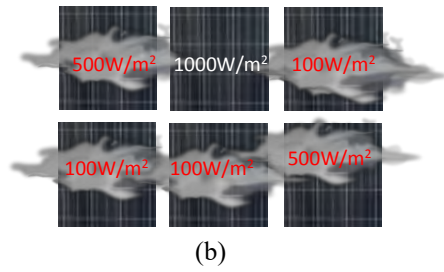
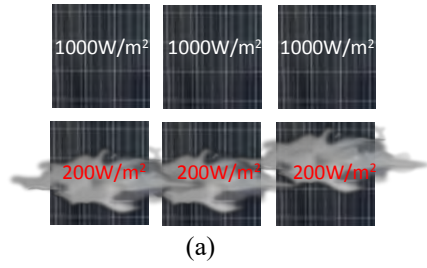


Gambar 3.6 Kurva I-V PV dengan intensitas berubah

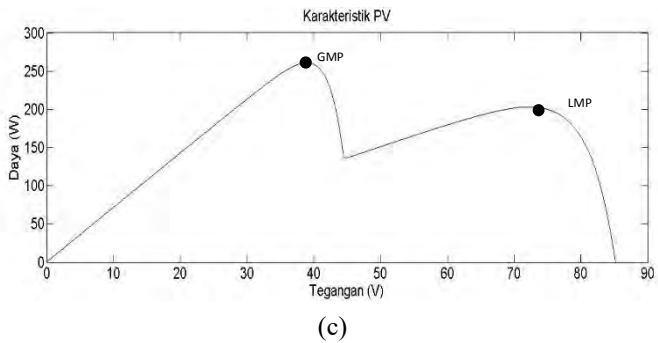
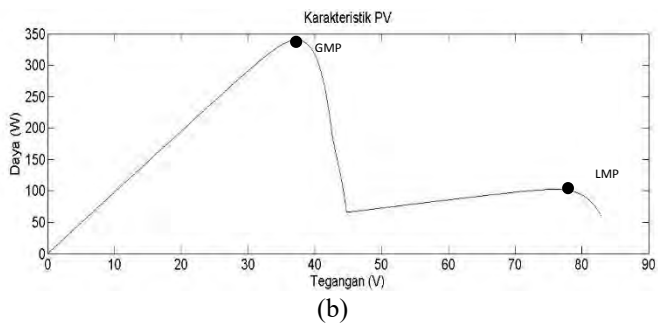
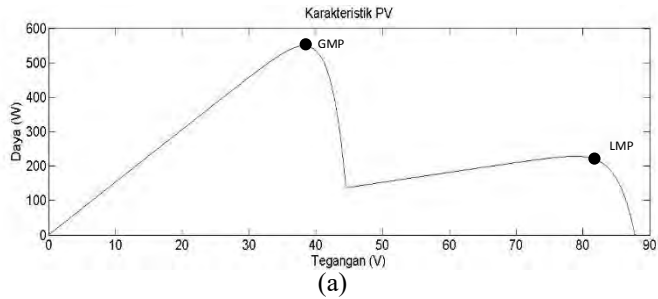
Tabel 3.2 Daya optimal tiap iradiasi

Iradiasi (W/m^2)	Daya Referensi(W)
1000	1200
700	810
500	584

Selain pengujian perubahan iradiasi yang sama tiap modul, pengujian juga dilakukan dengan perubahan iradiasi yang berbeda tiap modul, kondisi ini disebut *Partial Shaded Condition* (PSC). Berikut adalah kurva hasil pengujian PSC dalam 3 buah kondisi yang berbeda:



Gambar 3.7 *Partial Shaded Condition* (a) PSC I (b) PSC II (c) PSC III



Gambar 3.8 Kurva *Partial Shaded* (a) Kurva PSC I (b) Kurva PSC II
(c) KurvaPSC III

3.3. Parameterr Hybrid Cuk Converter Boost Mode

Untuk menghasilkan daya maksimum, maka perlu dilakukan perhitungan nilai parameter-paramet dari sebuah konverter DC-DC. Berikut adalah perhitungann untuk komponen yang digunakan pada *Hybrid Cuk Converter Boost Mode*:

- | | |
|--|----------|
| a) Tegangan sistem PV | =74.92 V |
| b) Tegangan DC-link | =200 V |
| c) <i>Ripple</i> arus keluaran | =±5% |
| d) <i>Ripple</i> tegangan keluaran | =±1% |
| e) <i>Ripple</i> tegangan pada C ₁ dan C ₂ | =±1% |
| f) Frekuensi pensaklaran | =20kHz |

Menghitung nilai inductor L₁ berdasarkan persamaan (2.13):

$$L_1 > \frac{DT(1+D)^2}{R_o(1-D)^2}$$

Maka dipilih nilai L₁ = 6.8 mH

Menghitung nilai inductor L₂ berdasarkan persamaan (2.16):

$$L_2 > \frac{(2+D)(1-D)R_oT}{(1+D)^2}$$

Maka dipilih nilai L₂ = 0.0658 H

Menghitung nilai inductor C₁ dan C₂ berdasarkan persamaan (2.17):

$$C = \frac{V_o^2(1-D)TD}{R_oV_{in}\Delta V_C}$$

Maka dipilih nilai C = 4.59 × 10⁻⁵ F

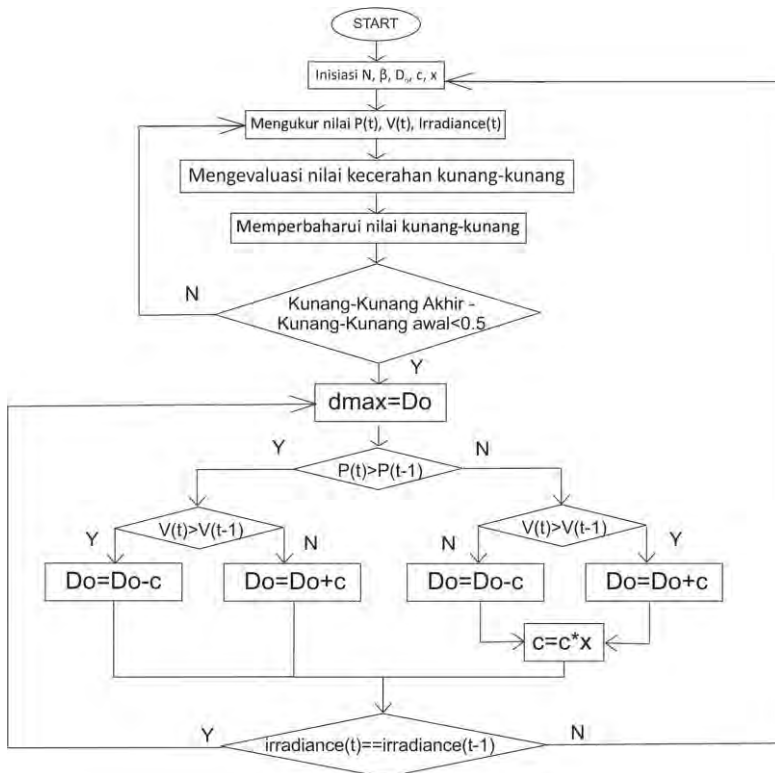
Menghitung nilai inductor C_o berdasarkan persamaan (2.17):

$$C_o = \frac{VoDT}{R_o\Delta V_o}$$

Maka dipilih nilai C_o = 2.08 × 10⁻⁵ F

3.4. Desain Kontrol MPPT

Pada tugas akhir ini algoritma MPPT yang digunakan adalah algoritma gabungan antara *Firefly Algorithm* (FFA) dan *Perturb and Observe Algorithm* (P&O). Kedua algoritma ini memiliki kelebihan dan kekurangan masing-masing. FFA memiliki keunggulan ketika berada dalam PSC tapi memiliki waktu konvergen yang lebih lama dari pada P&O [6]. Disisi lain, P&O memiliki waktu konvergensi yang cepat tapi memiliki kemungkinan yang lebih besar untuk terjebak pada titik *Local Maximum Power* (LMP) ketika terjadi kondisi PSC.



Gambar 3.9 Diagram alur algoritma MPPT

Untuk itu dilakukan penggabungan kedua algoritma ini untuk menghasilkan algoritma yang lebih baik. Pertama kali MPPT ini bekerja, MPPT ini menggunakan algoritma FFA untuk menghindari LMP pada PSC. Kemudian, algoritma akan beralih menjadi P&O ketika rentang antara kunang-kunang (*duty cycle*) awal dan akhir dibawah sudah cukup kecil (sekitar 0.5). Untuk algoritma P&O yang digunakan juga dilakukan sedikit modifikasi pada nilai gangguannya yang akan mengecil apabila daya yang baru lebih kecil dari pada daya yang lama.

3.5. Desain Single Phase Grid Connected

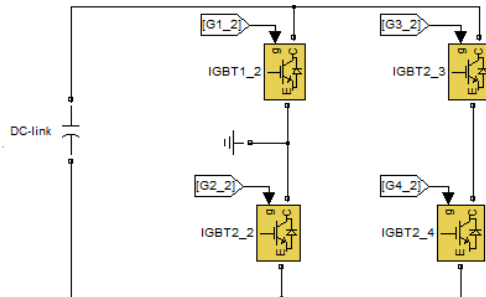
3.5.1. Rangkaian Inverter Satu Fasa

Rangkaian inverter satu fasa terdiri dari 4 buah saklar semikonduktor. Inverter ini digunakan untuk meghubungkan antara DC-link dengan grid. Tegangan dari DC-link diatur dari sebuah Kontroler pada inverter [7]. Kontroler ini mengatur penyaklaran pada inverter. Penyaklaran ini menggunakan metode SPWM.

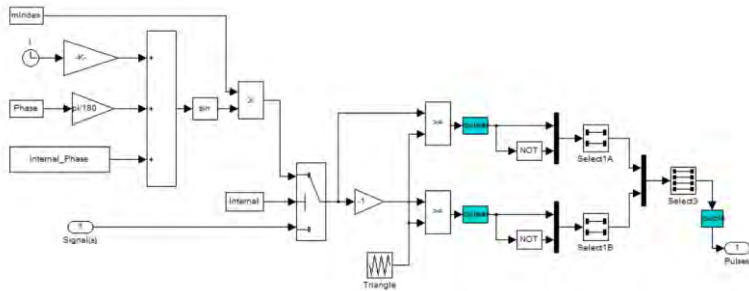
Parameter penyaklaran inverter adalah:

- Frekuensi penyaklaran, $f_s = 10\text{kHz}$
- Tegangan DC-link = 400 V
- Kapasitor DC-link = 2.1mF
- Modulasi amplitudo, $m_a = \frac{V_{grid}}{V_{dc}}$ (3.1)

$$m_a = \frac{220}{400} = 0.55$$



Gambar 3.10 Topologi inverter satu fasa di Simulink

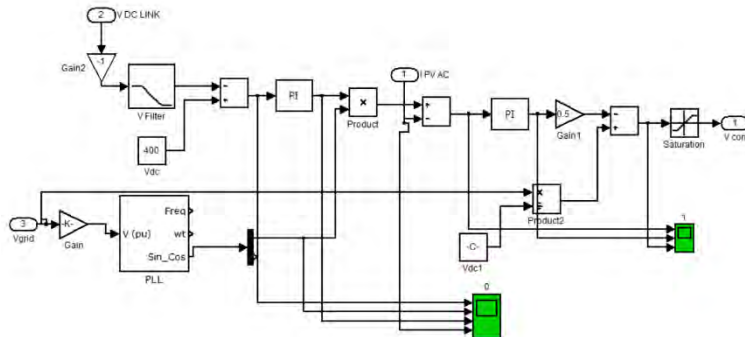


Gambar 3.11 Rangkaian SPWM 1-fasa

3.5.2. Kontrol Inverter

Untuk mengalirkan daya aktif dari sisi DC ke sisi AC, tegangan DC harus lebih tinggi dari pada nilai tegangan grid [8]. Karena tegangan grid satu fasa adalah $220\sqrt{2}V$, maka nilai tegangan 400 V pada DC-link sudah cukup untuk memenuhi syarat.

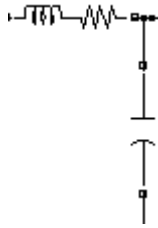
Pada tugas akhir ini menggunakan sebuah *double-loop control* untuk menjaga nilai tegangan DC tetap konstan dan daya aktif, hal ini dikenal sebagai *outer voltage loop* dan *inner current loop control* [9].



Gambar 3.12 Rangkaian kontrol inverter

3.5.3. Filter LC

Pada Penelitian ini menggunakan filter LC untuk menghasilkan tegangan dan arus keluaran inverter dengan frekuensi



Gambar 3.13 Filter LC

Berikut adalah parameter dan nilai desain filter LC sebagai filter output inverter berdasarkan persamaan (2.19) dan (2.61).

Parameter inverter yang digunakan adalah:

- $V_{dc} = 400V$
- $f_s = 20kHz$
- $\Delta I_{max} = 5\% \times I_{max}$
 $= 0.15$
- $f_n = 50Hz$
- $Z_{base} = \frac{v_g^2}{(P_{inv})}$
 $= 133 \text{ Ohm}$

$$L_f = \frac{400}{16 \times 10000 \times 0.15} = 0.083 \text{ H}$$

$$C_f = 0,05 \frac{1}{2\pi \times 50 \times 133} = 1.19 \times 10^{-6} F$$

Halaman ini sengaja dikosongkan

BAB 4

HASIL SIMULASI DAN ANALISIS DATA

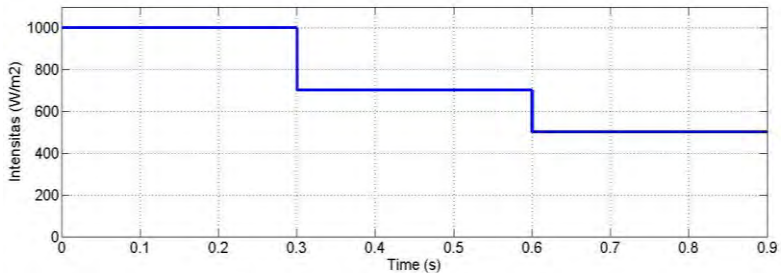
4.1. Pengujian PV

Pada sub bab ini akan dilakukan pengujian terhadap PV. Pengujian dilakukan dengan beberapa perubahan intensitas (1000W/m^2 , 700W/m^2 , 500W/m^2) dan kondisi PSC. Perubahan intensitas dan kondisi PSC bertujuan untuk menguji seberapa efisien dari sebuah algoritma MPPT yang digunakan dalam mencari titik daya maksimum PV. Ada dua algoritma MPPT yang akan dibandingkan pada bab ini, yakni algoritma gabungan FFA dan P&O dengan algoritma P&O.

Selain itu, pada sub bab ini juga akan dilakukan perbandingan konverter DC-DC yang digunakan sebagai media untuk menggiring titik daya PV menuju titik daya maksimum. Pada pengujian ini akan dilakukan perbandingan antara konverter hybrid cuk dengan konverter cuk.

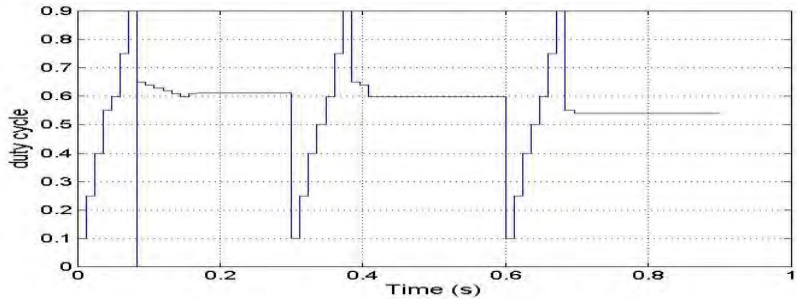
4.1.1. Pengujian Algoritma MPPT

Kurva intensitas cahaya dalam pengujian ditunjukkan oleh gambar 4.1. Masing-masing nilai intensitas cahaya menghasilkan daya maksimum yang berbeda-beda. Gambar 4.2 memperlihatkan nilai daya maksimum dari masing-masing nilai intensitas cahaya.



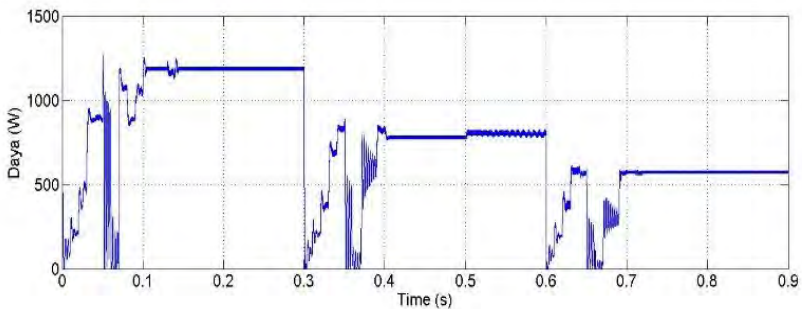
Gambar 4.1 Grafik perubahan intensitas

Dari sebuah mppt menghasilkan nilai *duty cycle* yang akan digunakan di sebuah konverter DC-DC untuk mendapat daya maksimum dari PV. Berikut adalah proses pencarian *duty cycle* yang dilakukan mppt dengan metode FFA dan P&O.



Gambar 4.2 Grafik *duty cycle* menggunakan metode FFA dan P&O

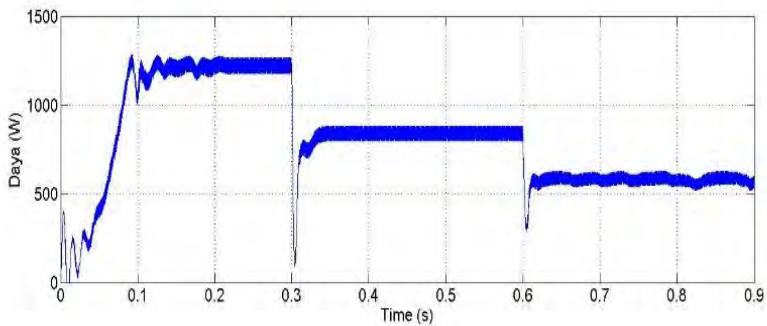
Dari gambar 4.2 dapat dilihat bahwa metode yang pertama kali digunakan adalah FFA. Setelah menyebarkan *duty cycle* (kuning-kuning), maka metodenya berubah menjadi P&O. Hal ini untuk mengatasi kondisi *partial shaded* dan mempercepat waktu konvergensi



Gambar 4.3 Grafik daya optimum menggunakan metode FFA dan P&O

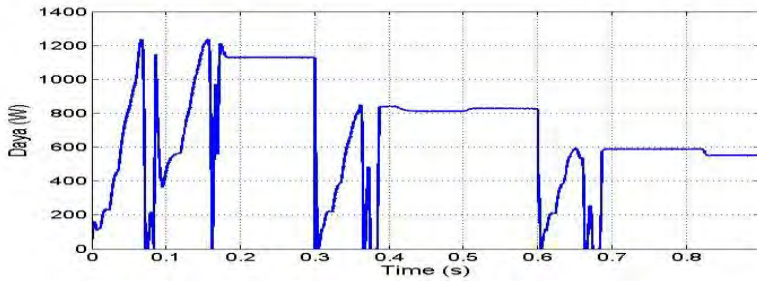
Tabel 4.1 Hasil metode FFA dan P&O

Iradiasi (W/m^2)	Daya Referensi (W)	Daya Aktual (W)	Error Daya (%)
1000	1200	1185	1.25
700	842	800	4.9
500	584	575	1.5

**Gambar 4.4** Grafik daya optimum menggunakan metode P&O**Tabel 4.2** Hasil metode P&O

Iradiasi (W/m^2)	Daya Referensi (W)	Daya Aktual (W)	Error Daya (%)
1000	1200	1200	0
700	842	805	4.3
500	584	580	0.68

Dari table 4.1 dan tabel 4.2 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan metode gabungan menghasilkan error daya (selisih daya referensi terhadap daya aktual) dan *time convergent* yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan menggunakan metode P&O. Disisi lain dengan menggunakan metode gabung menghasilkan riak daya jauh lebih sedikit dari pada dengan menggunakan metode P&O.



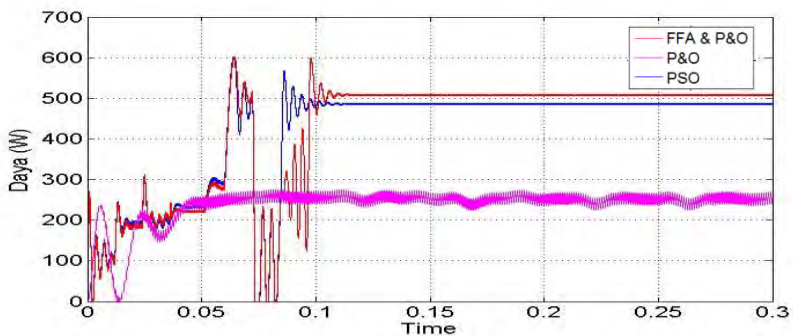
Gambar 4.5 Grafik daya optimum menggunakan metode PSO

Tabel 4.3 Hasil metode PSO

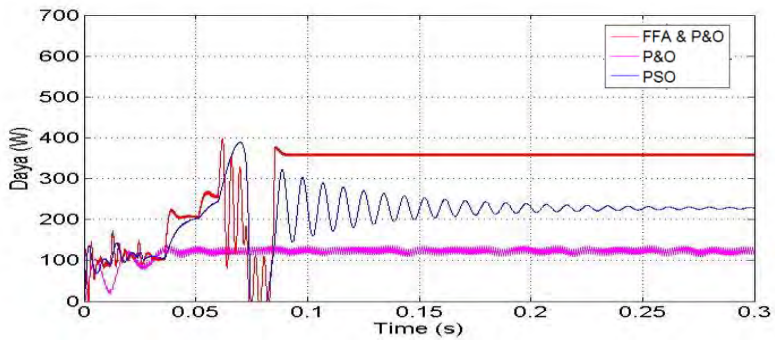
Iradiasi (W/m^2)	Daya Referensi (W)	Daya Aktual (W)	Error Daya (%)
1000	1200	1120	7.7
700	842	820	3.7
500	584	551	6.7

Dan sedangkan dari table 4.1 dan tabel 4.3 dapat dilihat bahwa dengan menggunakan metode gabungan menghasilkan error daya (selisih daya referensi terhadap daya aktual) dan *time convergent* yang lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan metode PSO.

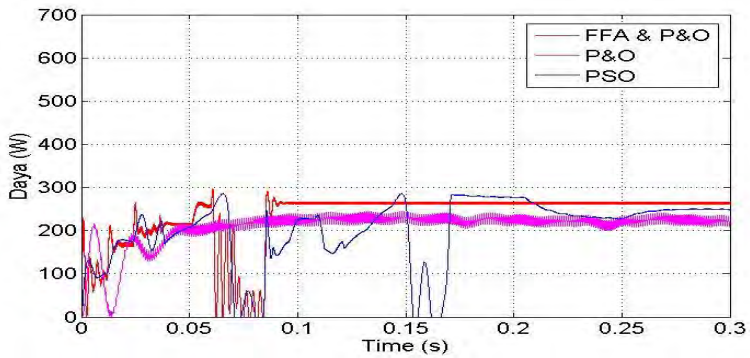
Berikut adalah hasil dari pencarian daya optimum dengan metode gabungan dan metode P&O. Dalam hal ini akan dilakukan dari kedua metode tersebut



(a)



(b)



(c)

Gambar 4.6 Grafik daya optimum pada PSC (a) PSC I (b) PSC II (c) PSC III

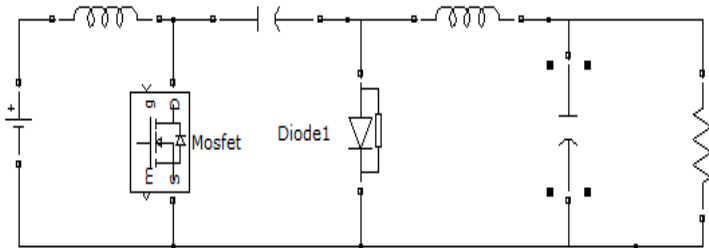
Tabel 4.4 Hasil optimasi daya pada PSC

Kasus	FFA dan PnO (W)	PnO (W)	PSO (W)
PSC I	508	256	492
PSC II	351	112	225
PSC III	262	228	254

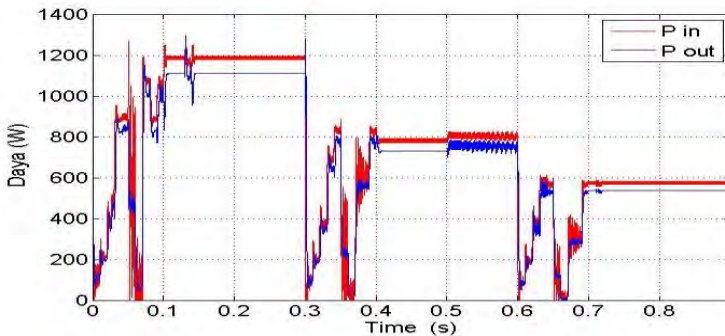
Gambar diatas menunjukkan perbandingan antara metode gabungan, metode P&O dan metode PSO. Terlihat jelas bahwa metode P&O terjebak pada LMP dari PSC, sedangkan metode gabungan tidak terjebak di LMP. Untuk metode PSO, daya yang dihasilkan lebih besar dibandingkan dengan P&O, tapi lebih kecil dibandingkan dengan metode gabungan. Sehingga dengan metode gabungan diperoleh nilai daya lebih optimum.

4.2. Analisis Pengujian Konverter

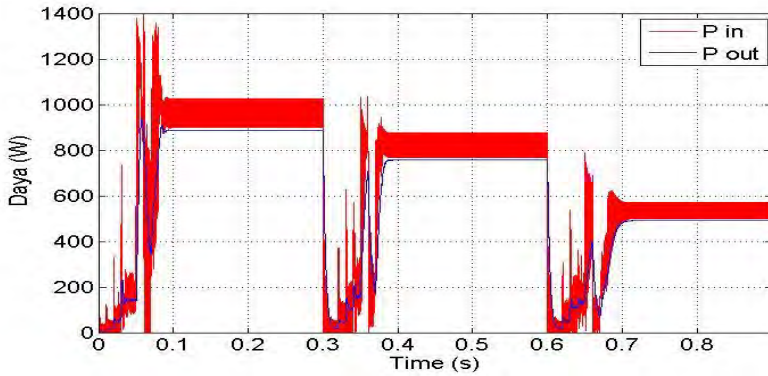
Pada tugas akhir ini dilakukan perbandingan antara *Hybrid Cuk Converter* dan *Cuk Converter*. Perbandingan antara 2 konverter ini ditinjau dari riak tegangan dan *error* daya konverter.



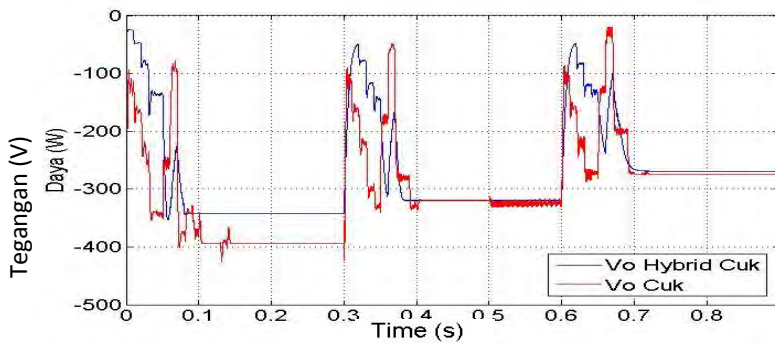
Gambar 4.7 Topologi cuk konverter



Gambar 4.8 Grafik daya *hybrid cuk converter*



Gambar 4.9 Grafik daya cuk converter



Gambar 4.10 Grafik V_o hybrid cuk dan cuk converter

Tabel 4.5 Performa *hybrid cuk converter*

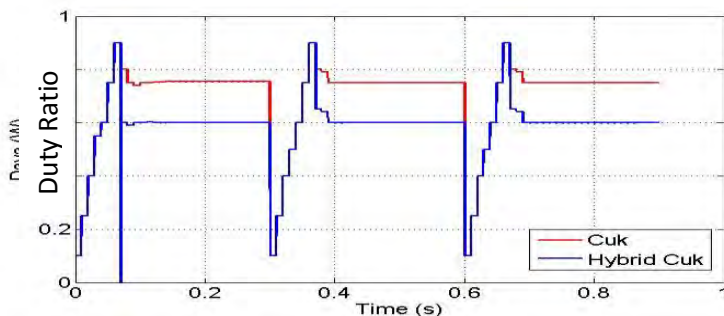
Intensitas (W/m^2)	Error daya (%)	Ripple V_o (V)
1000	0.064	0.4
700	0.068	0.9
500	0.066	0.4

Tabel 4.6 Performa cuk converter

Intensitas (W/m^2)	Error daya (%)	Ripple V_o (V)
1000	0.076	0.4
700	0.077	0.4
500	0.087	0.4

Dari pengujian konverter *Hybrid Cuk* dan *Cuk*, didapatkan perbedaan *error* daya yang lebih besar pada konverter *cuk*. Mengamati riak tegangan output dari kedua tidak terlihat perbedaan yang jauh, tetapi terdapat riak yang lebih besar pada konverter *cuk* dibandingkan dengan konverter *hybrid cuk*.

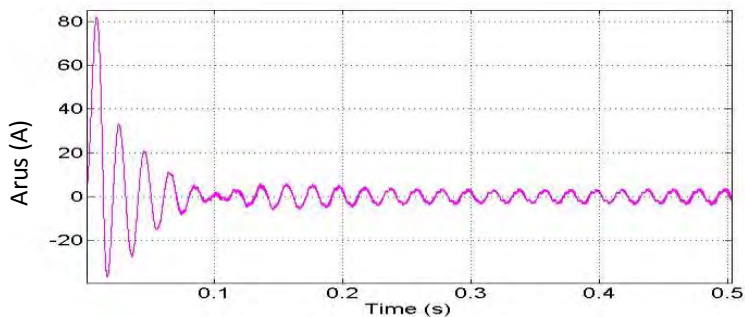
Disisi lain, ratio tegangan yang dapat dihasilkan pada konverter *hybrid cuk* lebih besar dibandingkan konverter *cuk* dengan duty ratio yang sama. Pada penelitian ini, tegangan keluaran yang dibutuhkan adalah 400 VDC untuk dihubungkan ke grid 220 VAC. Untuk menghasilkan tegangan 400 VDC, konverter *hybrid cuk* membutuhkan duty ratio sekitar 0.6 sedangkan konverter *cuk* membutuhkan duty ratio sekitar 0.75.



Gambar 4.11 Grafik *hybrid cuk dan cuk converter*

4.3. Pengujian Inverter Terkoneksi ke Grid

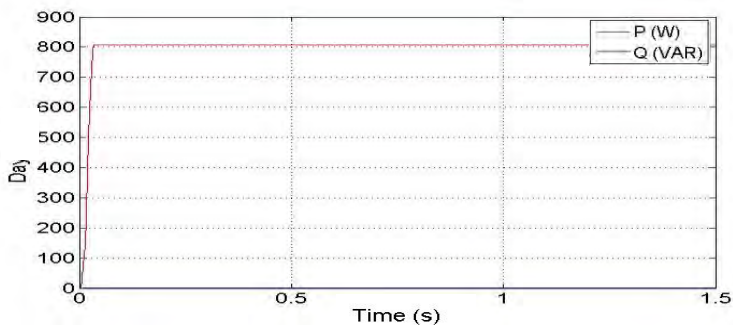
Pengujian inverter ini ditinjau dari beberapa sisi. Pertama adalah meninjau bentuk gelombang arus inverter sebelum dan sesudah terkoneksi ke grid. Selain itu perlu juga dilihat dari perbedaan fasa antara arus inverter dengan tegangan grid.



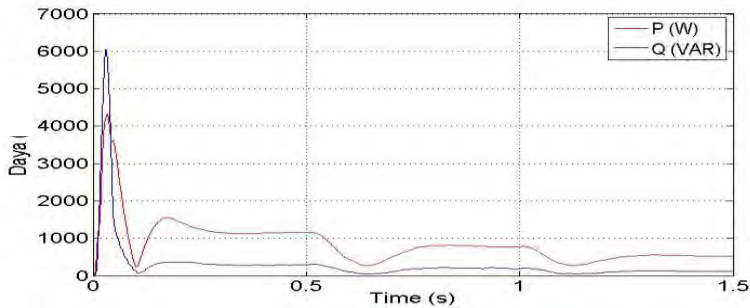
Gambar 4.12 Arus sebelum dan sesudah terkoneksi

Dari gambar diatas terlihat bahwa perbedaan bentuk gelombang arus inverter pada saat sebelum dan sesudah terkoneksi ke grid. Arus grid akan bernilai konstan ketika sudah terkoneksi ke grid.

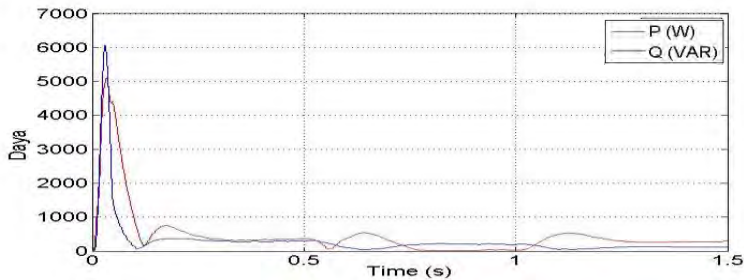
Selanjutnya penijauan pada daya yang dikirimkan ke beban dan grid. Beban yang digunakan adalah beban resistif sebesar 60 Ohm dengan tegangan sebesar 220 V, sehingga daya yang dibutuhkan oleh beban tersebut adalah 806.6 W.



Gambar 4.13 Grafik Daya aktif dan reaktif beban



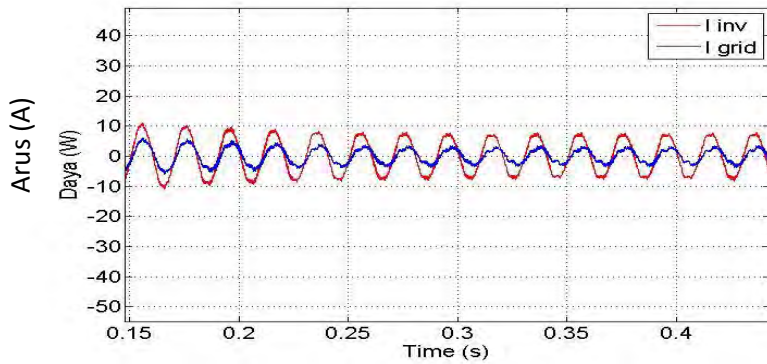
Gambar 4.14 Grafik Daya aktif dan reaktif inverter



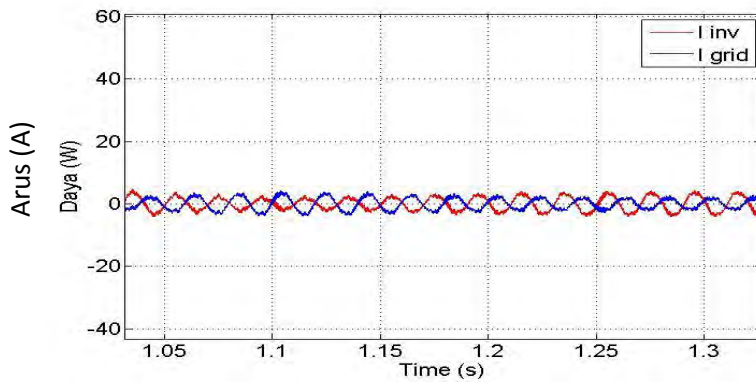
Gambar 4.15 Grafik Daya aktif dan reaktif grid

Dari hasil pengujian sebelumnya bahwa pada intensitas 1000 W/m^2 , sistem PV menghasilkan 1180 W dengan menggunakan MPPT FFA dan P&O dan konverter *Hybrid cuk*. Setelah melewati inverter satu fasa, daya dari sistem PV mengalami penurunan daya menjadi 1165 W (turun sekitar 1.2%). Penurunan daya ini disebabkan parameter R (hambatan) yang ada pada komponen *switching*.

Pada Grafik daya keluaran inverter, terlihat bahwa adanya penurunan daya yang dihasilkan ketika terjadi penurunan intensitas cahaya PV. Ketika daya yang dihasilkan PV masih mencukupi daya yang dibutuhkan oleh beban, maka grid tidak perlu menyuplai daya ke beban, dan apabila daya PV berlebih maka daya PV juga akan disuplai ke grid. Tetapi, Ketika daya yang dihasilkan PV tidak mencukupi daya yang dibutuhkan oleh beban karena perubahan intensitas cahaya, maka grid akan menyuplai daya ke beban. Perubahan aliran daya pada grid (menyuplai atau disuplai) dapat dilihat dari perbedaan fasa antara arus grid terhadap tegangan grid.



(a)

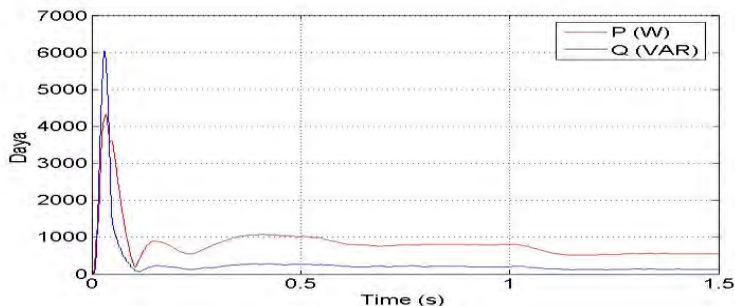


(b)

Gambar 4.16 Perbedaan Fasa antara arus grid dan arus inverter

Pada gambar (a), terlihat bahwa arus inverter dan arus grid memiliki fasa perbedaan fasa sekitar 30° . Pada kondisi inilah grid disuplai oleh PV. Sedangkan pada gambar (b), arus inverter dan arus grid memiliki perbedaan fasa sekitar 240° . Pada kondisi inilah grid menyuplai daya ke beban.

4.3.1. Perbandingan Sistem PV Terkoneksi ke Grid Dengan Algoritma MPPT yang Berbeda

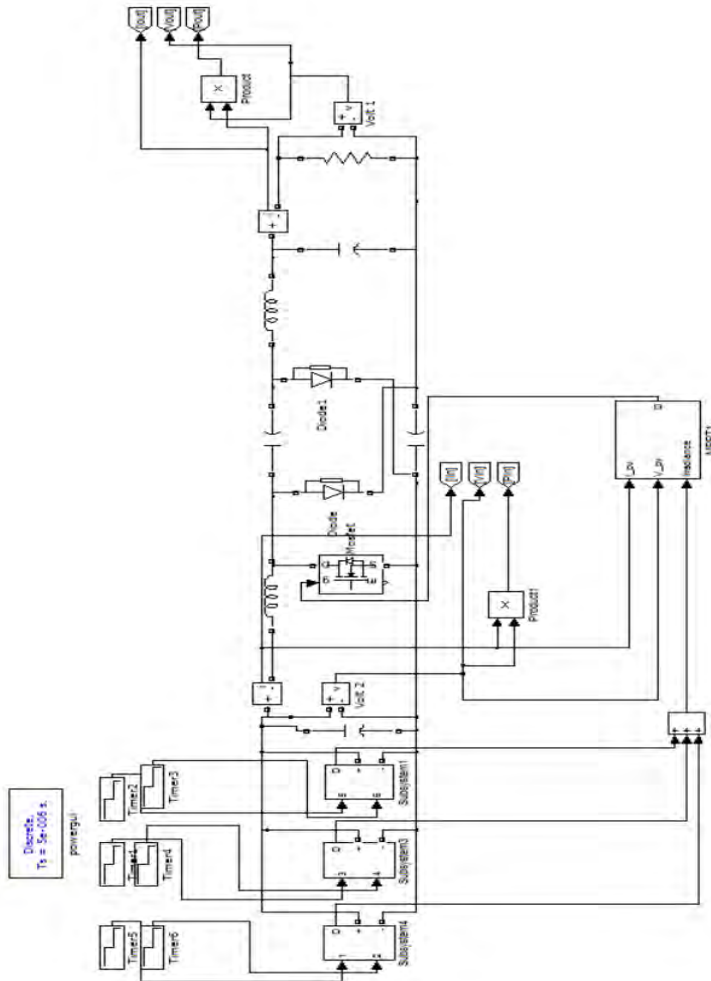


Gambar 4.17 Grafik Daya aktif dan reaktif inverter dengan menggunakan algoritma MPPT P&O

Dari gambar 4.12 dan gambar 4.14, dapat dilihat bahwa dengan metode MPPT FFA dan P&O memiliki *convergent time* yang lebih cepat di awal dari pada metode MPPT P&O. Tetapi ketika terjadi perubahan intensitas, maka metode P&O memiliki *time convergent* lebih cepat dari pada metode FFA dan P&O

LAMPIRAN

Lampiran 1



Gambar Stand alone PV System menggunakan metode MPPT FFA dan P&O dan Hybrid Cuk Converter

Lampiran 2

List Program MPPT FFA dan P&O

```
function DC = FFA(P,V,t,ir1,ir2)
%#eml

persistent time Daya Kunang Do c Vo Po dmax
DayaMax

if isempty(Kunang)
    Kunang=zeros(1,7);
end

if isempty(Daya)
    Daya=zeros(7,1);
end

if isempty(time)
    time=0;
end

if isempty(Po)
    Po=0;
end

if isempty(Vo)
    Vo=0;
end

if isempty(Do)
    Do=0;
end

if isempty(dmax)
    dmax=0;
end

if isempty(c)
```



```

        c=0.01;
end

if isempty(DayaMax)
    DayaMax=0;
end

B=0.5;
SM=0.5; %switch mode
delay=0.01;

DC=zeros;

if t<=0.00001
    Kunang=[0.1 0.25 0.4 0.55 0.6 0.75 0.9];
    time=t;
end

if Kunang(7)-Kunang(1)>SM

    if (t-time)<delay
        DC=Kunang(1);
        Daya(1)=P;

    elseif (t-time)<2*delay
        DC=Kunang(2);
        Daya(2)=P;

    elseif (t-time)<3*delay
        DC=Kunang(3);
        Daya(3)=P;

    elseif (t-time)<4*delay

```

```

        DC=Kunang(4);
        Daya(4)=P;

elseif (t-time)<5*delay
    DC=Kunang(5);
    Daya(5)=P;

elseif (t-time)<6*delay
    DC=Kunang(6);
    Daya(6)=P;

elseif (t-time)<7*delay
    DC=Kunang(7);
    Daya(7)=P;
end

if t-time>7*delay
    [Pmax,I]=sort(Daya);
    DayaMax=Pmax(7);
    dmax=Kunang(I(7));

    for i=1:7
        Kunang(i)=Kunang(i)+B*(dmax-
Kunang(i));
    end
    time=t;
end

elseif Kunang(7)-Kunang(1)<SM

    if t-time<delay
        if Do==0
            Do=dmax+0.05;
            DC=Do;
        else
            DC=Do;
        end
    end

```

```

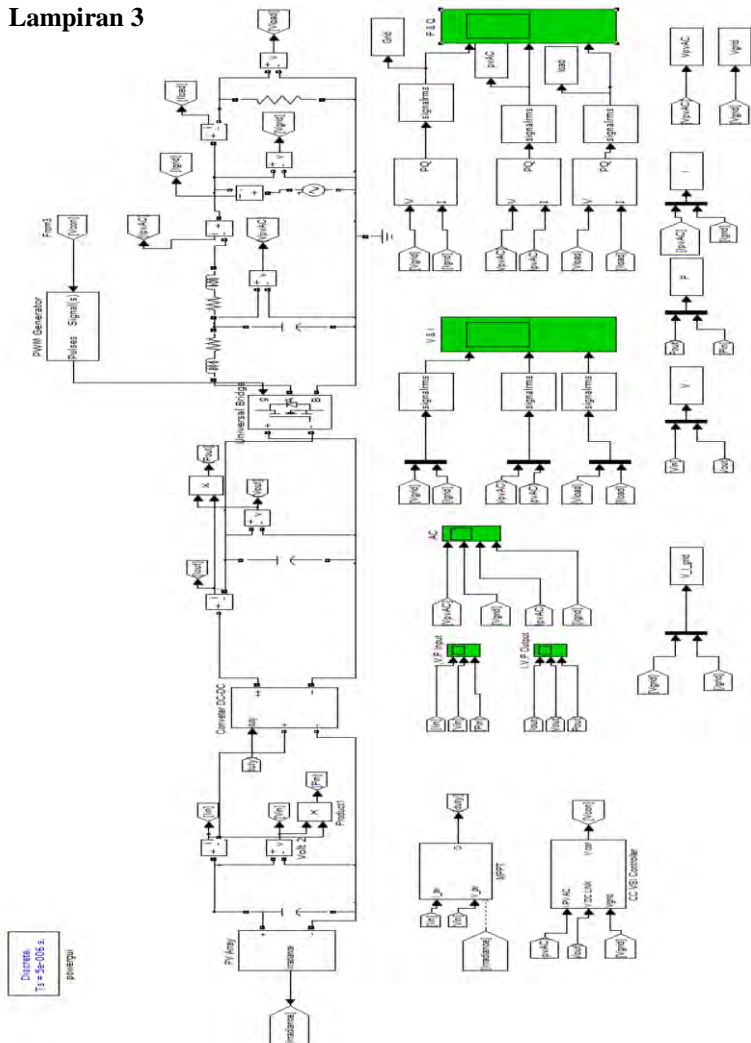
else
    if P-Po>0
        if V-Vo>0
            if P>DayaMax
                Do=Do-c;
            else
                P=DayaMax;
                Do=dmax;
            end
        else
            if P>DayaMax
                Do=Do+c;
            else
                P=DayaMax;
                Do=dmax;
            end
        end
        Vo=V;
    else
        if V-Vo>0
            if Po>DayaMax
                Do=Do+c;
            else
                P=DayaMax;
                Do=dmax;
            end
        else
            if Po>DayaMax
                Do=Do-c;
            else
                P=DayaMax;
                Do=dmax;
            end
        end
        Vo=V;
        c=c*0.1;
    end
    Po=P;
    DC=Do;
    time=t;

```

```
        end
    end

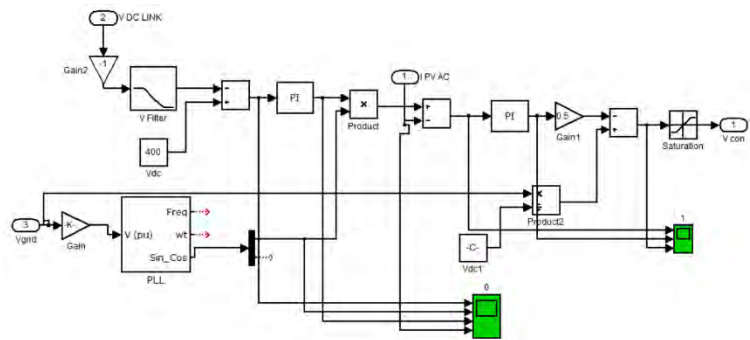
    if ir1~=ir2
        Kunang=[0.1 0.25 0.4 0.5 0.6 0.75 0.9];
        Daya=zeros(7,1);
        c=0.01;
        Do=0;
        time=t;
        DayaMax=0;
    end
```

Lampiran 3

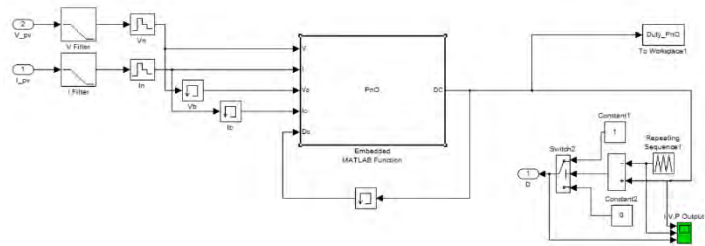


Gambar PV System menggunakan metode MPPT FFA dan P&O dan Hybrid Cuk Converter terkoneksi ke grid satu phase

Lampiran 4



Gambar Single phase grid inverter controller



Gambar MPPT

BAB 5

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil pengujian sistem dan analisis data pada penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut:

1. MPPT dengan metode FFA dan P&O menghasilkan riak yang lebih kecil dibandingkan dengan metode P&O saja. Tapi, metode ini menghasilkan error daya yang sedikit lebih besar dibandingkan dengan metode P&O.
2. Metode FFA dan P&O memiliki waktu konvergen yang lebih singkat dibandingkan dengan metode PSO.
3. Berdasarkan hasil pengujian, *hybrid cuk converter* menghasilkan daya yang lebih optimum dari pada *cuk converter*.
4. Pada *partial shaded condition*, Metode FFA dan P&O menghasilkan daya yang lebih optimum dibandingkan dengan metode P&O dan metode PSO.
5. Terdapat rugi-rugi pada saklar sehingga terdapat sedikit perbedaan daya masukan dan daya keluaran konverter DC-DC, turun sekitar 1.27%.
6. Untuk menghasilkan ratio tegangan yang sama, *hybrid cuk converter* membutuhkan *duty ratio* yang lebih kecil dari pada *cuk converter*.

5.2. Saran

Saran yang diberikan pada penelitian ini adalah

1. Pada penelitian ini hanya memiliki intensitas sebagai variabel yang berubah. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya juga memperhatikan perubahan suhu.
2. Pada penelitian ini belum membandingkan metode *current control inverter* dengan metode yang lain. Disarankan untuk penelitian selanjutnya melakukan perbandingan dengan metode lainnya.
3. Perbandingan metode MPPT pada penelitian ini menggunakan metode P&O yang memang tidak mampu mengatasi *partial shaded condition*. Sebaiknya untuk penelitian selanjutnya perlu dibandingkan dengan metode yang mampu mengatasi *partial shaded condition* juga.

Halaman ini sengaja dikosongkan

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Safarudin, Mahfudz, “*Combining Simplified Firefly and Modified P&O Algorithm for Maximum Power Point Tracking of Potovoltaic System Under Partial Shading Condition*”, International Seminar on Intelligent Technology and Its Application, 2015.
- [2] R, Sankarganesh. “*Maximum Power Point Tracking in PV System using Intelligence based P&O Technique and Hybrid Cuk Converter*”, International Conference in Emerging Trends in Science, Engineering and Technology, 2012
- [3] Windarko, Ayub,”*Maximum Power Point Tracking of Photovoltaic System Using Adaptive Modified Firefly Algorithm*”, Conference Paper DOI:10.131410/RG.2.1.1608.1687, 2016
- [4] Sundareswaran, Kinattingal,”*MPPT of PV System Under Partial Shaded Condition Through a Colony of Flashing Fireflies*”, IEEE Tra nssaction on Energy Conversion, Vol 29, No2, 2014
- [5] Kurnia M. Pebriningtyas. “Penelusuran Daya Maksimum Pada Panel Photovoltaic Menggunakan Kontrol Logika Fuzzy Di Kota Surabaya”. Jurnal Teknik POMITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Suarabaya, 2013
- [6] Diana Petrila, Frede Blaabjerg, Nicolae Muntean, Cristian Lascu, “*Fuzzy Logic Based MPPT Controller for a Small Wind Turbine System*”, IEEE 978-1-4673-1653-8/12,2012
- [7] W.Rong Jong and W.We-Hung, “*Grid-Connected Photovoltaic Generation Systems*”, IEEE Trans. Circuit and Systems I: Regular Papers, Vol. 55,pp.953-964, 2008
- [8] Rahim, Nasrudin ABD, “*Hysterysis Current Control and Sensorless MPPT for Grid-Connected Photovoltaic Systems*”, IEEE1-4244-0755-9/07,2007
- [9] Ahmed Refaat, Ahmed Kalas and Ahmed Daoud, “*A Control Methodology of Three Phase Grid Connected PV System*”, Departmen of Electrical power Engineering Port Said University, Egypt, 2014

Halaman ini sengaja dikosongkan

RIWAYAT HIDUP



Penulis yang biasa dipanggil Edhu lahir di Bekasi, 17 Januari 1995. Penulis merupakan anak kedua dari dua bersaudara. Penulis menghabiskan pendidikan di TK Kutilang, SD IT Mutiara, SMP IT Mutiara, dan SMA N Plus Riau. Penulis kemudian melanjutkan kebangku kuliah di Jurusan Teknik Elektro Fakultas Teknologi Industri Institut Teknologi Sepuluh Noember, Surabay. Sejak menginjak perkuliahan di semester 6, penulis tergabung menjadi bagian dari asisten Labiratorium Konversi Energi. Penulis juga aktif berpartisipasi dalam berbagai kepanitian acara dan mengikuti lomba-lomba keilmiahan. Penulis memlki banyak pengalaman yang menarik selama tiga setengah tahun kuliah di Teknik Elektro. Penulis dapat dihubungin melalui email: dhuhari1995@gmail.com.